



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

IMPACTO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y
PERMEABILIDAD DEL CONCRETO A PARTIR DE LA
SUSTITUCIÓN DE LA PIEDRA POR ECOGRAVILLA DE
ESCORIA DE ACERO, TRUJILLO – 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Bach. Anthony Enrique Corcuera Sigüenza

Bach. Jose Rafael Vela Fernandez

Asesor:

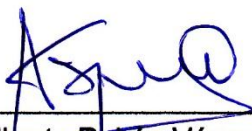
Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo – Perú
2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres **Anthony Enrique Corcuera Sigüenza** y **Jose Rafael Vela Fernandez**, denominada:

**IMPACTO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PERMEABILIDAD DEL
CONCRETO A PARTIR DE LA SUSTITUCIÓN DE LA PIEDRA POR
ECOGRAVILLA DE ESCORIA DE ACERO, TRUJILLO - 2018.**



Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz
ASESOR



MBA Josuado Villar Quiroz
**JURADO
PRESIDENTE**



Mg. Ing. Wiston Azañedo Medina
JURADO



Ing. Carlos Fernández Fernández
JURADO

DEDICATORIA

A Dios, quien me guio por el buen camino y
por darme las fuerzas para salir adelante
enfrentando todo obstáculo.

A mis padres Gerardo Vela y Ana
Fernández y mis hermanos Claudia y
Gerardo, por su apoyo y confianza en todo
lo necesario para cumplir mis objetivos
como persona y estudiante,

A mi abuelo Rafael Fernández quien me ha
llenado de sabiduría y consejos en todo el
transcurso de mi preparación como
profesional.

A mi compañera Geraldine, que
incondicionalmente me ha acompañado en
las buenas y las malas en este periplo de
mi vida universitaria.

Jose R. Vela Fernandez

A Dios, ser celestial que es capaz de hacer
cosas maravillosas, como iluminar nuestras
mentes para lograr este trabajo

A mis padres Enrique y Nancy junto a mis
hermanos David y Wilder, por su apoyo
incondicional y confianza en todo lo
necesario para cumplir mis objetivos como
persona y profesional.

A mi “amasita” Rafita y mi abuela Graciela,
que aunque no estén físicamente, vivirán
en los corazones de quienes los quisimos

Al Ing. David Rodriguez Pacheco, más que
llegar a compartir conocimientos en un aula
universitaria, sus experiencias y muestras
de confianza fueron fundamentales para
poder salir de mi “área de confort”.

A mi fiel compañera Jhasury, por todo su
apoyo y comprensión en los momentos que
más la he necesitado.

A mis grandes amigos que me rodearon y
familiares cercanos que estuvieron en las
buenas y las malas.

Anthony E. Corcuera Sigüenza

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera profesional, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.

A nuestros padres y hermanos, quienes estuvieron constantemente en el tiempo de nuestro aprendizaje, apoyándonos en los buenos y malos momentos, por el sacrificio que han hecho para darnos lo más valioso en la vida que es una profesión.

A la Universidad Privada del Norte y sus respectivos laboratorios de la carrera de Ingeniería Civil, por cobijarnos los cinco años de estudio e impartirnos los conocimientos propios de la carrera, lo cual se verá reflejado en este trabajo

Al profesor Dennis Echegaray Ortega por su tiempo y asesoramiento en los temas metodológicos de la tesis.

A las Empresas de Sika Perú S.A.C. por su apoyo en la realización de ensayos de penetración de agua (permeabilidad) y a la Corporación Aceros Arequipa por la donación de la Ecogravilla de escoria de acero.

A nuestro asesor, el ingeniero Alberto Rubén Vásquez Díaz, por su tiempo, amistad y apoyarnos incondicionalmente en el desarrollo de la tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>APROBACIÓN DE LA TESIS</u>	2
<u>DEDICATORIA</u>	3
<u>AGRADECIMIENTO</u>	4
<u>ÍNDICE DE CONTENIDOS</u>	5
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	8
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	12
<u>RESUMEN</u>	16
<u>ABSTRACT</u>	17
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	18
1.1. Realidad problemática	18
1.2. Formulación del problema.....	21
1.3. Justificación	21
1.4. Limitaciones	22
1.5. Objetivos	23
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes	24
2.2. Bases teóricas.....	30
2.2.1. Resistencia a la Compresión	30
2.2.2. Permeabilidad del Concreto.....	37
2.2.3. Ecogravilla de escoria de acero.....	43
2.2.4. Influencia del uso Áridos de Escoria de acero en el Concreto	48
2.3. Hipótesis	51
2.3.1. Hipótesis Global:	51
2.3.2. Hipótesis Específica 1:.....	51
2.3.3. Hipótesis Específica 2:	52
2.3.4. Hipótesis específica 3:.....	53
2.3.5. Hipótesis específica 4:.....	54
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	55
3.1. Operacionalización de variables.....	55
3.1.1. Variable Independiente:	55
3.1.2. Variables Dependientes	55
3.2. Diseño de investigación	56
3.3. Unidad de estudio	56
3.4. Población	56

3.5. Muestra (muestreo o selección)	56
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	60
3.6.1. Técnica para la recolección de datos:.....	60
3.6.2. Instrumento para la recolección de datos:	60
3.6.3. Procedimiento para recolectar datos	62
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	70
3.7.1. Métodos para el análisis de datos:.....	70
3.7.2. Instrumentos para el análisis de datos:.....	70
3.7.3. Procedimiento de análisis de datos:	70
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....	71
4.1. Obtención de los Áridos	71
4.1.1. Áridos Naturales:.....	71
4.1.2. Áridos siderúrgicos:.....	72
4.2. Ensayo de Agregados	73
4.2.1. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.....	73
4.2.2. AGREGADOS: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global	74
4.2.3. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados.	76
4.2.4. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso	77
4.2.5. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino	77
4.3. Caracterización de Escoria	78
4.4. Diseño de Mezcla.....	80
4.4.1. Materiales:.....	80
4.4.2. Diseño de Mezcla de Concreto (Dosificaciones):	82
4.5. Elaboración de Probetas	88
4.6. Ficha Técnica de los Concretos en estado fresco	93
4.7. Ensayo de Resistencia al esfuerzo de Compresión	94
4.7.1. Resistencia al esfuerzo de Compresión del Concreto Patrón:	95
4.7.2. Resistencia al esfuerzo de Compresión de Concreto con 20% de Ecogravilla:.....	96
4.7.3. Resistencia al esfuerzo de Compresión de Concreto con 35% de Ecogravilla:.....	97
4.7.4. Resistencia al esfuerzo de Compresión de Concreto con 50% de Ecogravilla:.....	98
4.7.5. Resistencia al esfuerzo de Compresión de Concreto con 65% de Ecogravilla:.....	99
4.8. Ensayo de Penetración de agua (Permeabilidad)	101
4.9. Resultados del análisis de datos:	103
4.9.1. Normalidad de datos:	103
4.9.2. Prueba de hipótesis:.....	104
4.10.Regresión y correlación de los datos:	116
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN	119
5.1. Áridos:.....	119
5.1.1. Áridos naturales:	119
5.1.2. Áridos siderúrgicos:.....	120

5.2. Concreto Fresco:.....	121
5.3. Resistencia al esfuerzo de Compresión:	122
5.4. Penetración de Agua bajo presión (Permeabilidad):	124
5.5. Relación entre Resistencia al esfuerzo de compresión y Permeabilidad:.....	125
5.6. Análisis de la Comprobación de Hipótesis:	126
5.7. Análisis Económico	127
CONCLUSIONES	129
RECOMENDACIONES	130
REFERENCIAS.....	131
ANEXOS	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Fallas de las probetas generadas por el ensayo a Compresión – Pat. 1	35
Tabla 2: Fallas en las probetas generadas por el ensayo a Compresión – Pat. 2	36
Tabla 3: Valores de un concreto de baja permeabilidad.....	42
Tabla 4: Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis específica 1	51
Tabla 5: Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis específica 2.	52
Tabla 6: Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis específica 3	53
Tabla 7: Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis específica 4.	54
Tabla 8: Matriz de Operacionalización de Variables.....	55
Tabla 9: Valores de la distribución normal estandarizada	57
Tabla 10: Distribución de probetas para la evaluación de la Resistencia a la Compresión para cada tipo de cemento	58
Tabla 11: Distribución de probetas para la evaluación de la permeabilidad del concreto para cada tipo de Cemento	59
Tabla 12: Guia de observación para los datos de Resistencia a la compresión	60
Tabla 13: Guia de observación para los datos de Permeabilidad.....	61
Tabla 14: Humedad promedio del Agregado Grueso	73
Tabla 15: Humedad promedio del Agregado Fino	73
Tabla 16: Análisis granulométrico del agregado grueso	74
Tabla 17: Análisis granulométrico del agregado fino	75
Tabla 18: Resultados del PUSS y PUCS del agregado grueso.....	76
Tabla 19: Resultados del PUSS y PUCS del agregado fino	76
Tabla 20: Resultados del peso específico y absorción del agregado grueso	77
Tabla 21: Resultados del peso específico y absorción del agregado fino	77
Tabla 22: Análisis granulométrico de la Ecogravilla de escoria de acero	78
Tabla 23: Humedad promedio de la Ecogravilla.....	79
Tabla 24: Resultados del peso específico y absorción de la Ecogravilla.....	79
Tabla 25: Resultados del PUSS y PUCS de la Ecogravilla	79
Tabla 26: Requisitos químicos del agua para la elaboración del concreto	82
Tabla 27: Propiedades físicas del Agregado fino	83
Tabla 28: Propiedades físicas del Agregado grueso	83
Tabla 29: Propiedades físicas de la Ecogravilla de escoria de acero	84
Tabla 30: Dosificación para elaboración del concreto Patrón con Cemento Tipo ICO	84
Tabla 31: Dosificación para elaboración del concreto Patrón con Cemento tipo V.....	85
Tabla 32: Dosificación del concreto con 80% AG y 20% de Ecogravilla - Cemento Tipo ICO	85
Tabla 33: Dosificación del concreto con 80% AG y 20% de Ecogravilla - Cemento tipo V	85

Tabla 34: Dosificación del concreto con 65% AG y 35% de Ecogravilla - Cemento Tipo ICO.....	86
Tabla 35: Dosificación del concreto con 65% AG y 35% de Ecogravilla - Cemento Tipo V.....	86
Tabla 36: Dosificación del concreto con 50% AG y 50% de Ecogravilla - Cemento Tipo ICO.....	87
Tabla 37: Dosificación del concreto con 50% AG y 50% de Ecogravilla - Cemento tipo V.....	87
Tabla 38: Dosificación del concreto con 35% AG y 65% de Ecogravilla - Cemento Tipo ICO.....	88
Tabla 39: Dosificación del concreto con 35% AG y 65% de Ecogravilla - Cemento tipo V.....	88
Tabla 40: Fechas de elaboración del concreto patrón con cemento Tipo ICO.....	89
Tabla 41: Fechas de elaboración del concreto con 20% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO.....	89
Tabla 42: Fechas de elaboración del concreto con 35% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO.....	90
Tabla 43: Fechas de elaboración del concreto con 50% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO.....	90
Tabla 44: Fechas de elaboración del concreto con 65% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO.....	90
Tabla 45: Fechas de la elaboración del concreto patrón con cemento tipo V.....	91
Tabla 46: Fechas de elaboración del concreto con 20% de Ecogravilla y cemento tipo V.....	91
Tabla 47: Fechas de elaboración del concreto con 35% de Ecogravilla y cemento tipo V.....	91
Tabla 48: Fechas de elaboración del concreto con 50% de Ecogravilla y cemento tipo V.....	92
Tabla 49: Fechas de elaboración del concreto con 65% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO.....	92
Tabla 50: Resultados obtenidos de los ensayos hechos al concreto fresco.....	93
Tabla 51: Resultados de la resistencia a la compresión para el cemento Tipo ICO.....	94
Tabla 52: Resultados de la resistencia a la compresión para el cemento Tipo V.....	94
Tabla 53: Resultados del ensayo de penetración del agua en concretos con cemento Tipo ICO	101
Tabla 54: Resultados del ensayo de penetración del agua en concretos con cemento Tipo V ...	101
Tabla 55: Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk en la variable de resistencia a la compresión a 28 días de curado.....	103
Tabla 56: Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk en la variable de permeabilidad.....	103
Tabla 57: Hipótesis a considerar para el grupo 20% de Ecogravilla (Cemento Tipo ICO).....	104
Tabla 58: Hipótesis a considerar para el grupo 20% de Ecogravilla (Cemento Tipo V).....	105
Tabla 59: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso de cemento Tipo ICO y 20% de Ecogravilla.....	105
Tabla 60: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo ICO y 20% de Ecogravilla.....	106
Tabla 61: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso del cemento Tipo V y 20% de Ecogravilla.....	106
Tabla 62: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo V y 20% de Ecogravilla..	106
Tabla 63: Resumen de la prueba T-Student para la hipótesis específica 1.....	106
Tabla 64: Hipótesis a considerar para el grupo 35% de Ecogravilla (Cemento Tipo ICO).....	107
Tabla 65: Hipótesis a considerar para el grupo 35% de Ecogravilla (Cemento Tipo V).....	108

Tabla 66: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso de cemento Tipo ICO y 35% de Ecogravilla	108
Tabla 67: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo ICO y 35% de Ecogravilla.	109
Tabla 68: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso del cemento Tipo V y 35% de Ecogravilla	109
Tabla 69: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo V y 35% de Ecogravilla ..	109
Tabla 70: Resumen de la prueba T-Student para la hipótesis específica 2.....	109
Tabla 71: Hipótesis a considerar para el grupo 50% de Ecogravilla (Cemento Tipo ICO).....	110
Tabla 72: Hipótesis a considerar para el grupo 50% de Ecogravilla (Cemento Tipo V).....	111
Tabla 73: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso de cemento Tipo ICO y 50% de Ecogravilla	111
Tabla 74: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo ICO y 50% de Ecogravilla.	112
Tabla 75: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso del cemento Tipo V y 50% de Ecogravilla	112
Tabla 76: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo V y 50% de Ecogravilla ..	112
Tabla 77: Resumen de la prueba T-Student para la hipótesis específica 3.....	112
Tabla 78: Hipótesis a considerar para el grupo 65% de Ecogravilla (Cemento Tipo ICO).....	113
Tabla 79: Hipótesis a considerar para el grupo 65% de Ecogravilla (Cemento Tipo V).....	114
Tabla 80: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso de cemento Tipo ICO y 65% de Ecogravilla	114
Tabla 81: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo ICO y 65% de Ecogravilla.	115
Tabla 82: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso del cemento Tipo V y 65% de Ecogravilla	115
Tabla 83: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo V y 65% de Ecogravilla ..	115
Tabla 84: Resumen de la prueba T-Student para la hipótesis específica 4.....	115
Tabla 85: Resultados de las Líneas de Tendencia de la Resist. a la Compresión a 28 días de curado (Cemento Tipo ICO).....	116
Tabla 86: Resultados de las Líneas de Tendencia de la Resist. a la Compresión a 28 días de curado (Cemento Tipo V).....	116
Tabla 87: Resultados de las Líneas de Tendencia de permeabilidad (Cemento Tipo ICO).....	117
Tabla 88: Resultados de las Líneas de Tendencia de permeabilidad (Cemento Tipo V).....	117
Tabla 89: Producción Mundial de Acero del año 2016	135
Tabla 90: Costo Unitario de un Concreto Patrón con Cemento Tipo ICO.....	187
Tabla 91: Costo Unitario de un Concreto Patrón con Cemento Tipo V.....	187

Tabla 92: Costo Unitario de un Concreto con 50% de Ecogravilla y Cemento Tipo ICO	188
Tabla 93: Costo Unitario de un Concreto con 50% de Ecogravilla y Cemento Tipo V	188
Tabla 94: Costo Unitario de Tarrajeo con Impermeabilizante en Muros de Concreto con Cemento Tipo ICO.....	189
Tabla 95: Costo Unitario de Tarrajeo con Impermeabilizante en Muros de Concreto con Cemento Tipo V	189

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variación de la resistencia a la compresión en función de la relación a/c.....	33
Figura 2: Coeficiente de permeabilidad al agua en función de la relación a/c.....	38
Figura 3: Variación del coeficiente de permeabilidad en función de la relación a/c para concretos de distinto TM, mortero y pasta de cemento.....	39
Figura 4: Esquema de una celda triaxial.....	41
Figura 5: Esquema de realización de ensayo DIN 1048	42
Figura 6: Clasificación simplificada de las escorias según la procedencia.....	43
Figura 7: Horno de arco eléctrico.....	46
Figura 8: Aspecto de la escoria procedente de Aceros Arequipa.....	47
Figura 9: Composición química de las escorias según el país de procedencia.....	48
Figura 10: Diagrama de procesos para recolección de datos	62
Figura 11: Esquema de funcionamiento del ensayo de permeabilidad	65
Figura 12: Esquema para el análisis de datos	70
Figura 13: Ubicación de la cantera El Milagro.....	71
Figura 14: Ubicación de la planta de Aceros Arequipa ©.....	72
Figura 15: Curva granulométrica del agregado grueso	74
Figura 16: Curva granulométrica del agregado fino	75
Figura 17: Curva granulométrica de la Ecogravilla de escoria de acero	78
Figura 18: Propiedades físicas del Cemento Tipo ICO Extraforte.....	80
Figura 19: Propiedades físicas del Cemento tipo V.	81
Figura 20: Resistencia a la compresión de las muestras de concreto patrón.....	95
Figura 21: Resistencia a la compresión del concreto con cemento tipo ICO (superior) y tipo V (inferior) usando 20% de Ecogravilla.....	96
Figura 22: Resistencia a la compresión del concreto con cemento tipo ICO (superior) y tipo V (inferior) usando 35% de Ecogravilla.....	97
Figura 23: Resistencia a la compresión del concreto con cemento tipo ICO (superior) y tipo V (inferior) usando 50% de Ecogravilla.....	98
Figura 24: Resistencia a la compresión del concreto con cemento tipo ICO (superior) y tipo V (inferior) usando 65% de Ecogravilla	99
Figura 25: Resistencia al esfuerzo de compresión del concreto a los 28 días de curado	100
Figura 26: Evolución de la penetración del agua en los concretos con cemento Tipo ICO.....	102
Figura 27: Evolución de la penetración del agua en los concretos con cemento Tipo V	102
Figura 28: Línea de Tendencia de la Resistencia a la compresión (Tipo ICO).....	117
Figura 29: Línea de Tendencia de la Resistencia a la compresión (Tipo V)	118
Figura 30: Línea de Tendencia de la Permeabilidad (Tipo ICO)	118
Figura 31: Línea de Tendencia de la Permeabilidad (Tipo V)	118

Figura 32: Distribución de los tamaños de la granulometría del Agregado Grueso.....	119
Figura 33: Distribución de los tamaños de la granulometría del Agregado Fino	120
Figura 34: Distribución de los tamaños de la granulometría de la Ecogravilla	121
Figura 35: Resistencia a la compresión VS penetración del agua (permeabilidad) del concreto con cemento tipo ICO	125
Figura 36: Resistencia a la compresión VS penetración del agua (permeabilidad) del concreto con cemento tipo V	126
Figura 37: Composición Química de la Ecogravilla.....	136
Figura 38: Zona de Enfriamiento de la Escoria de Ecogravilla.....	137
Figura 39: Cinta Transportadora de Escoria de Ecogravilla	137
Figura 40: Zona de llenado para Transportar la Escoria de Ecogravilla.....	138
Figura 41: Zona de Almacenamiento de la Escoria de Ecogravilla	138
Figura 42: Escoria de Ecogravilla en Estado Natural	139
Figura 43: Llenado en sacos del Producto.....	139
Figura 44: Mezclado de Concreto.....	140
Figura 45: Agregados para la Elaboración el concreto	140
Figura 46: Ensayo para Determinar la Fluidéz del Concreto (Cono de Abrams).....	141
Figura 47: Moldes de Probetas	142
Figura 48: Curado de Probetas para el Ensayo de Resistencia a la Compresión	142
Figura 49: Curado de Probetas para el Ensayo de Permeabilidad	143
Figura 50: Maquina de Ensayo a la Compresión	144
Figura 51: Ensayo a la Compresión de Probetas.....	145
Figura 52: Probetas Ensayadas a la Compresión	146
Figura 53: Probetas para Ensayo de permeabilidad	146
Figura 54: Enumeración de Probetas para Ensayo de Permeabilidad	147
Figura 55: Pre Secado de Probetas antes del Ensayo de Permeabilidad	147
Figura 56: Ensayo de Permeabilidad	148
Figura 57: Medida de Penetración de Agua en Probetas.....	148
Figura 58: Autores y Asesor de la investigación en laboratorio.....	149
Figura 59: Ensayo de Granulometría - Agregado Grueso	150
Figura 60: Ensayo de Granulometría - Agregado Fino.....	151
Figura 61: Ensayo de Granulometría - Ecogravilla	152
Figura 62: Ensayo Peso Unitario - Agregado Grueso	153
Figura 63: Ensayo Peso Unitario - Agregado Fino	154
Figura 64: Ensayo Peso Unitario – Ecogravilla	155
Figura 65: Ensayo Peso Específico y Absorción - Agregado Grueso.....	156
Figura 66: Ensayo Peso Específico y Absorción - Agregado Fino	157

Figura 67: Ensayo Peso Específico y Absorción - Ecogravilla	158
Figura 68: Ensayo Contenido de Humedad - Agregado Grueso	159
Figura 69: Ensayo Contenido de Humedad - Agregado Fino.....	160
Figura 70: Ensayo Contenido de Humedad - Ecogravilla.....	161
Figura 71: Ensayos de Concreto Fresco.....	162
Figura 72: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto Patrón c/cemento tipo ICO ...	163
Figura 73: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo ICO + 20% de Ecogravilla	164
Figura 74: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo ICO + 35% de Ecogravilla	165
Figura 75: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo ICO + 50% de Ecogravilla	166
Figura 76: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo ICO + 65% de Ecogravilla	167
Figura 77: Ensayo Resistencia a la Compresión - Concreto Patrón c/cemento tipo V	168
Figura 78: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo V + 20% de Ecogravilla	169
Figura 79: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo V + 35% de Ecogravilla	170
Figura 80: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo V + 50% de Ecogravilla	171
Figura 81: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo V + 65% de Ecogravilla	172
Figura 82: Ensayo de Penetración del Agua en concretos con cemento tipo ICO	173
Figura 83: Ensayo de Penetración del Agua en concretos con cemento tipo V	174
Figura 84: Certificado de conformidad del Laboratorio de Materiales QCe	175
Figura 85: Certificado del Laboratorio de Ensayo de Materiales de SIKA PERÚ S.A.C.....	176
Figura 86: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 7 días de curado (cemento tipo ICO).....	177
Figura 87: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 21 días de curado (cemento tipo ICO).....	178
Figura 88: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 28 días de curado (cemento tipo ICO).....	179
Figura 89: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 7 días de curado (cemento tipo V).....	180
Figura 90: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 21 días de curado (cemento tipo V).....	181

Figura 91: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 28 días de curado (cemento tipo V)	182
Figura 92: Guía de Observación para el ensayo de Permeabilidad (cemento tipo ICO)	183
Figura 93: Guía de Observación para el ensayo de Permeabilidad (cemento tipo V)	184
Figura 94: Certificado de Calibración de Maquina de Compresión	185
Figura 95: Certificado de calibración de equipo de Permeabilidad (Manómetro)	186
Figura 96: Norma Técnica Peruana para Análisis Granulométrico	190
Figura 97: Norma Técnica Peruana para Peso Unitario.....	191
Figura 98: Norma Técnica Peruana para Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso ...	192
Figura 99: Norma Técnica Peruana para Peso Específico y Absorción del Agregado Fino	193
Figura 100: Norma Técnica Peruana para Contenido de Humedad	194
Figura 101: Norma Técnica Peruana para Determinar la Resistencia a la Compresión.....	195
Figura 102: Norma Técnica Peruana Extracción y Preparación de las Muestras de Agregados.	196
Figura 103: Norma Técnica Peruana Definición y Clasificación de Agregados	197
Figura 104: Norma Técnica Peruana para Cementos Portland Adicionados (tipo ICO)	198
Figura 105: Norma Técnica Peruana para Cementos Portland (tipo V)	199
Figura 106: Norma del Ensayo “Profundidad de Penetración de Agua bajo Presión”	200

RESUMEN

La Ecogravilla de escoria de acero es un residuo industrial de la Corporación Aceros Arequipa, que se obtiene del enfriamiento al aire libre de las escorias utilizadas en la fabricación de acero de construcción. En esta tesis se le propone como una opción para usarlo como agregado grueso en la elaboración de estructuras de concretos, con el fin de mitigar el impacto ambiental que produce este residuo.

La manera en que se utilizó la Ecogravilla en este trabajo fue a través de la sustitución de la piedra en porcentajes de 20%, 35%, 50% y 65%. Luego se analizó el impacto en su resistencia a la compresión (NTP 339.034:2015) y penetración de agua bajo presión (UNE-EN 12390-8:2011) para medir su permeabilidad. Posterior a esto, se analizó los resultados obtenidos y se eligió el porcentaje óptimo para aplicarlo en concretos elaborados con cementos tipo ICo y tipo V.

Por otro lado, también se evaluó y explicó las propiedades físicas de la muestra de Ecogravilla en su estado natural, recogida en la planta de la corporación ubicada en Pisco. Estos resultados se compararon con lo obtenido de los áridos naturales (piedra y arena) provenientes de la cantera El Milagro.

Los resultados obtenidos de los ensayos a compresión y penetración del agua para los concretos hechos con ambos tipos cemento muestran que hasta un porcentaje de sustitución del 50% de Ecogravilla por piedra, la resistencia a la compresión se incrementa así como su impermeabilidad. Cuando el porcentaje de sustitución es del 65%, la resistencia e impermeabilidad se reduce. Inclusive, los ensayos hechos a las mezclas en estado fresco ya no son trabajables y pierde densidad.

Esta evaluación a nivel de ingeniería realizada a los concretos con Ecogravilla sirve de sustento para poder elaborar concretos con responsabilidad estructural y es una alternativa de uso en estructuras que tengan contacto con el agua.

Finalmente, se hizo un análisis económico al usar un concreto convencional frente a un concreto con Ecogravilla y constatar las ventajas que trae en el tiempo de vida útil de la estructura el uso de estos últimos concretos.

ABSTRACT

The Ecogravilla of steel slag is an industrial waste of the Aceros Arequipa Corporation, which is obtained from the cooling in the open air of the slag used in the manufacture of steel construction. In this thesis is proposed as an option to use as a coarse aggregate in the development of concrete structures, in order to mitigate the environmental impact produced by this waste.

The way in which the Ecogravilla was used in this work was through the replacement of the stone in percentages of 20%, 35%, 50% and 65%. Then, the impact on its compressive strength (NTP 339.034: 2015) and water penetration under pressure (UNE-EN 12390-8: 2011) was analyzed to measure its permeability. After this, the results obtained were analyzed and the optimum percentage was chosen to apply it in concrete made with cements type ICo and type V.

On the other hand, the physical properties of the sample of Ecogravilla in its natural state, collected in the plant of the corporation located in Pisco, were also evaluated and explained. These results were compared with those obtained from natural aggregates (stone and sand) from the El Milagro quarry.

The results obtained from the compression and water penetration tests for concretes made with both cement types show that up to a 50% substitution percentage of Ecogravilla per stone, the resistance to compression increases as well as its impermeability. When the percentage of substitution is 65%, the resistance and impermeability is reduced. Inclusively, the tests done to the mixtures in fresh state are no longer workable and lose density.

This evaluation at engineering level made to concrete with Ecogravilla serves as a support to be able to elaborate concretes with structural responsibility and is an alternative of use in structures that have contact with water.

Finally, an economic analysis was made by using a conventional concrete against a concrete with Ecogravilla and to verify the advantages that the use of the latter concretes brings in the useful life of the structure.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En los últimos 30 años, la tecnología del concreto ha logrado grandes avances con respecto a su durabilidad y resistencia. El Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2000), menciona que el concreto debe tomar en cuenta tres criterios para tener una buena funcionalidad: costo de materiales y construcción; durabilidad y buen comportamiento ambiental. No obstante en México, Hernandez y Mendoza (2005) explican que un contratista confunde un concreto económico con uno barato, pues el barato puede ser resistente ante sus solicitaciones de carga pero no necesariamente es durable (que no se deteriora por el paso de agentes externos del ambiente como las aguas o sulfatos) lo que a largo plazo pueda resultar en un mayor costo por su mantenimiento; en cambio un concreto durable y resistente puede implicar un costo inicial mayor en su construcción pero a futuro representa ahorros considerables. En España, de acuerdo a Sanjuan y Castro (2001), el problema que hace que las estructuras de concreto eleven su costo por reparaciones es por la inadecuada selección de los materiales, perjudicando en la mayoría de los casos en su resistencia a la compresión e incrementando la porosidad del mismo, haciéndolo más permeable (los problemas serían mayores si este fuese concreto armado). En Francia, Mathieu y Sari (1994) menciona que de los tanques elevados presentes en las edificaciones el 12% tiene problemas por permeabilidad del concreto lo cual hace que solo el 58% de los usuarios están satisfechos con su funcionamiento.

Por lo tanto, las propiedades de resistencia e impermeabilidad son influyentes para obtener un concreto durable y para ello se necesita buscar los materiales correctos para llegar al objetivo. Pero la creciente demanda de viviendas por los habitantes de cada país debido a la sobrepoblación y la escasez de recursos naturales, fomentan una preocupación por el desarrollo sostenible. Eso ha hecho que en los últimos años la tendencia sea realizar “construcciones sustentables”, que de acuerdo a Karamanian (2013) tiene como uno de sus objetivos la selección de insumos y materiales derivados de procesos de extracción o producción limpia (provenientes de fábricas industriales) y con ello buscar minimizar el impacto ambiental y elevar el bienestar de los que lo habitan tomando en cuenta los criterios de conservación del ambiente, minimización de recursos naturales y ahorro de energía.

Este concepto ha permitido que ahora exista en el campo de la tecnología del concreto una corriente muy marcada que busca el uso de residuos alternativos para aplicarlo en combinación con el concreto o en reemplazo de uno de sus componentes.

Amaral (1999) afirma que es necesario y conveniente estudiar la viabilidad del uso de residuos producidos en cantidades importantes, debido al elevado volumen de áridos naturales que se

consume en el sector de la construcción. Estas innovaciones en la tecnología del concreto llegan al mercado si es que traen consigo grandes ventajas ambientales y económicas en las industrias. En el caso de la industria metalúrgicas, según el análisis de Cruz, Franco y Pérez (2014), es una de las grandes productoras de residuos de todo tipo y debido a las grandes cantidades producidas representan una problemática empresarial y la necesidad de eliminar este tipo de residuos genera no solo gastos considerables para estas industrias, sino que además a largo plazo producirá una degradación ambiental. De acuerdo al estudio hecho por la Sociedad Pública de Gestión Ambiental IHOBE (2011), los mayores residuos generados por estas industrias son las escorias de acero, que es un material fundido formado por las reacciones químicas entre la materia prima, los materiales añadidos al horno y las impurezas oxidadas que se presentan durante el refinado del metal. Además, este estudio afirma que las escorias más usadas y conocidas en el medio de la construcción son las que derivan de la fabricación de hierro y acero, destacándose la escoria de horno de oxígeno básico (BOF) y la escoria de horno eléctrico (EHE o EAF en inglés), las cuales una vez trituradas a una granulometría apropiada presentan propiedades físicas adecuadas para su uso como árido. Estos tipos de hornos son los métodos más usados para la fabricación del acero a nivel mundial. La Asociación Mundial del Acero (2017) estimó que en el año 2016 el 25.7% de las 1627 millones de toneladas de acero producidas se hicieron con hornos de arco eléctrico. Se pronostica que para el año 2050 la participación de estos hornos aumente a 50% en la producción de este material, debido a que cada vez se sigue restringiendo las emisiones de CO₂ en los países que más tienen hornos de oxígeno (Por ejemplo el caso de China, país que produce más acero en el mundo, el 94% de sus hornos son de oxígeno básico) y otra de las razones de usar hornos eléctricos es por el bajo costo en su producción y mejor calidad del acero.

Estas escorias de acero se pueden reciclar de diversas formas tal es así que en Europa, según las estadísticas hechas por EUROSLAG y EUROFER (2012), de los 21.8 millones de toneladas producidas en el año del estudio se tiene que el 48% se destina a la construcción de carreteras, 6% en la producción del cemento, 3% en la ingeniería hidráulica y el saldo en otros usos. Estos porcentajes muestran lo importante que ha sido su uso de este residuo en el campo de la construcción civil y lo muy valorado que ya es por ese lado del mundo. En los Estados Unidos, también se tiene precedente de la aplicación de este residuo, como en la construcción de la pista de aterrizaje del aeropuerto internacional de Pittsburg, usándose cerca de 750 mil toneladas de escoria.

En lo que respecta a edificaciones de concreto, usualmente en el Perú los constructores recurren a los aditivos para lograr obtener los resultados deseados de elevada resistencia a la compresión e impermeabilidad. Pero, en los últimos 10 años a través de diversas

investigaciones de las universidades más importantes del país se está demostrando que se pueden llegar a obtener dichos propósitos con hacer variaciones en los componentes de la mezcla, logrando ser más económico en lugar de usar aditivos. Gamero (2006) menciona que la forma de trabajarlo en el concreto es haciendo “adiciones”, que están referidas fundamentalmente al incremento de la resistencia (por aumento del gel) y de la durabilidad (por disminución significativa de la permeabilidad). Estas adiciones, tales como: la ceniza, escorias de alto horno, cenizas de carbón y microsílices; tienen la finalidad de reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio (resultante de la hidratación del cemento) para formar tobermorita adicional, logrando así la reducción de poros e incrementando la resistencia mecánica de la pasta y la durabilidad del concreto.

Por ello, teniendo como ejemplo la experiencia de otros países, se espera que con la Ecogravilla (proveniente de las escorias de arco eléctrico) tenga similar comportamiento que los residuos industriales mencionados anteriormente.

El Perú a nivel de Sudamérica, según la estadística de la Asociación Mundial del Acero (2017), en el año 2016 fue el cuarto país que más produjo acero y el tercero en producirlo en hornos de arco eléctrico. Las empresas de SIDERPERÚ y Aceros Arequipa ©, principales productores de acero en el país de acuerdo América Economía (2013), elaboran en su totalidad escorias de acero a partir de sus hornos de arco eléctricos, siendo Aceros Arequipa la que más produce (143 kg/ton de acero al año). El nombre que la empresa le ha dado a esta escoria enfriada al ambiente es de Ecogravilla. Los estudios que ha realizado Marquina (2008) sobre este material indican que es un excelente agregado para fines de pavimentación de carreteras así como siendo un excelente aditivo para mejorar el suelo de cimentación adicionándole con polvo de Baghouse (residuo producido también por Acero Arequipa ©). La aplicación más reciente de la Ecogravilla en el área de pavimentos es en la construcción del intercambio vial de San Andrés en Pisco.

En la ciudad de Trujillo, también se han desarrollado investigaciones para darle un adecuado uso a la escoria de acero. Zelada (2016) aborda la importancia económica que se le debe dar a este material, y los beneficios que obtendría la empresa que lo brinda. Lo más destacado de su estudio es la aplicación del material en la mezcla del concreto, remplazándolo parcialmente en lugar del agregado grueso y fino, obteniendo un concreto con una resistencia al esfuerzo de compresión por encima del 45% del patrón. Este estudio nos demuestra la posibilidad de incluir la escoria en las obras de concreto armado debido a su facilidad de trabajo. Por ahora solo ha quedado en investigación y no se ha usado con mayor relevancia en edificaciones.

Además, respecto a la evaluación de la permeabilidad en concretos con escoria, no se tienen antecedentes de estudio en la ciudad. Pero, siguiendo la misma línea de los concretos con

adiciones de residuos industriales, Contreras y Villalobos (2017) elaboraron un concreto adicionando ceniza volante de carbón (CVC) en porcentajes de 1.5%, 3%, 4.5% y 6% respecto al peso de cemento, evaluando la permeabilidad a través del ensayo de penetración del agua. Se concluye que a más adición de CVC (6%) se obtiene un resultado de 38.32% menos respecto al de un concreto patrón.

Ante las situaciones presentadas en párrafos anteriores, nuestro estudio busca impulsar y dar más posibilidades de uso a este material, basándonos en las aseveraciones de los autores de que se puede trabajar con la escoria de acero, sobre todo las que provienen del horno de arco eléctrico, como es el que posee la planta de Aceros Arequipa © en Pisco. Además, a partir de junio del 2017, El Ministerio del Ambiente (MINAM) ha implementado una normativa que está fortaleciendo la gestión integral de residuos en el país, enfocándose en su control y en darle una recuperación y valorización al material como: el reciclaje, reutilización y otras alternativas que garantice la salud y medio ambiente. Es por eso que la empresa busca enfocar el uso de la Ecogravilla en otros rubros de la construcción civil, aparte del que se le da en la construcción de carreteras.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el impacto de la sustitución de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero en la resistencia al esfuerzo de compresión y permeabilidad del concreto, elaborado con cemento Portland Tipo ICO y V, en la ciudad de Trujillo en el año 2018?

1.3. Justificación

Se decidió realizar esta investigación, analizando el comportamiento del concreto en la resistencia a la compresión y permeabilidad sustituyendo la Ecogravilla de escoria de acero en un porcentaje respecto del agregado grueso, para obtener un concreto con una resistencia alta y poca permeabilidad a comparación de los convencionales.

En la actualidad la escoria de acero ha sido aplicada en el área de obras viales que en la construcción de edificaciones. Pero debido a la demanda de calidad en las construcciones y mayor desempeño de las mismas este podría ayudar a contribuir dicha demanda que están solicitando los constructores del rubro de las edificaciones. En nuestro país aún hay pocos ensayos y estudios acerca de los beneficios que puede darnos la combinación de escoria de acero con concreto. Este insumo guarda características especiales en su granulometría pero principalmente se busca lograr la reutilización de las partículas mejorando la resistencia a la compresión e impermeabilidad del concreto. Esto contribuirá al desarrollo del conocimiento de la tecnología del concreto realizado con residuos producidos por la planta de Aceros

Arequipa, así como también ayudará a esta Corporación a darle un nuevo uso aparte del que ya le dan en el área de pavimentos.

Además, no dejando de lado el incentivar el reciclaje de la escoria de acero utilizado para la elaboración de concreto, también contribuiría enormemente a la reducción de la contaminación ambiental.

En la Norma Técnica E.060 de Concreto armado, los elementos estructurales más importantes como las vigas, columnas y placas deben ser diseñados y construidos tomando en cuenta una resistencia que no debe ser menor a 210 kg/cm². Por lo tanto, para el desarrollo de la presente tesis, se ha realizado los diseños de mezclas escogiendo esta resistencia a la compresión, tomando en cuenta la metodología explicada en el ACI-211.

Del mismo modo, los tipos de cementos que se aplicarán en este trabajo serán del Tipo ICO, debido a que es un cemento de uso general en las obras de construcción del país y ser el mejorado del tipo I; y el Tipo V, que es aplicado en obras de concreto donde se requiere alta resistencia a los sulfatos. Ambos tipos de cementos generan una alta expectativa en los investigadores debido a que se tiene poca información del comportamiento de las mezclas al combinarlos con la Ecogravilla de escoria de acero.

Las probetas de concreto a elaborar, serán expuestas a 7, 21 y 28 días de curado. Se han considerado estos periodos puesto que en la primera (7 días) y tercera semana (21 días), las resistencias de estas probetas ya tienen una ganancia del 90% de su resistencia de diseño, mientras que en la última semana (28 días) la resistencia del concreto llega a ser igual o mayor a su resistencia con la cual se ha diseñado.

1.4. Limitaciones

- Se limitará nuestra investigación al uso de agregados de la Cantera “El Milagro” de la ciudad de Trujillo, puesto que las demás lugares han sido afectadas por el fenómeno del niño que azotó al país en marzo del 2017. Por ello, no se permitió recoger muestras variados de agregados naturales.
- La Ecogravilla de escoria de acero ha sido obtenida de la planta de la Corporación Aceros Arequipa ubicada en Pisco, siendo una limitante la variedad de muestras de escoria por ser el único contacto que se disponía y la única planta que tenía disponible este residuo (SIDERPERU cerro su planta de aceros en noviembre del 2016). Por lo cual, tuvimos que optimizar el uso de este material para las evaluaciones de calidad de nuestras probetas de concreto lo que se ha visto reflejado en la elección de los porcentajes de sustitución.

1.5. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Determinar el impacto en la resistencia al esfuerzo de compresión y permeabilidad del concreto a partir de la sustitución de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero.

1.1.2. Objetivos específicos

- Seleccionar y evaluar la Ecogravilla de escoria de acero proveniente de la planta de ACEROS AREQUIPA ©, comparando sus propiedades físicas frente a los de un árido natural (piedra y arena).
- Analizar los resultados de la resistencia a la compresión y permeabilidad que alcanza un concreto con la sustitución del agregado grueso por Ecogravilla de escoria de acero, con respecto a un concreto patrón.
- Obtener el porcentaje óptimo de sustitución de los áridos de “Ecogravilla” de escoria de acero por piedra, que incrementen los valores de la resistencia a la compresión y disminuya la permeabilidad de un concreto convencional.
- Comparar el precio unitario entre un concreto patrón y concreto con porcentaje óptimo de sustitución de Ecogravilla por piedra.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

a) Internacionales

- En la tesis de Vélez (2013) titulada **“Hormigones de escoria de acero de Horno Eléctrico: prestaciones mecánicas, físicas y químicas, de la Universidad de Cuenca**, la cual tiene como objetivo incorporar la escoria de acero en la elaboración de mezclas de hormigón, para evaluar sus prestaciones mecánicas, físicas y químicas, con el afán de reducir, reciclar y reutilizar los desechos industriales provenientes de empresas siderúrgicas y así en un futuro cercano pueda ser utilizado en el sector construcción del Ecuador para obras puntuales las cuales cumplan con las normas y especificaciones técnicas requeridas. El autor concluye que en cuanto a prestaciones físicas el hormigón con escoria es más denso que uno tradicional debido a que la escoria es 1.15 veces más pesada que un árido natural. En las prestaciones químicas no reporta sustancias nocivas para el hormigón y/o refuerzo como el azufre, cloruros y sulfuros; pero hace advertencia de tener cuidado con la presencia del cal libre y MgO pues puede causar expansiones en el hormigón. En las prestaciones mecánicas, la combinación de hormigón y escoria muestra que es un material altamente elástico y que respecto a la resistencia a la compresión no hay mucha diferencia en resultados con respecto a uno tradicional, pese a que se diseñó con la misma relación agua/cemento. A pesar de eso, sus valores exceden los 50 MPa considerándolos como hormigones de alta resistencia.

Esta alta resistencia que tienen los hormigones con escoria de acero, se debe a la excelente unión entre la pasta de cemento y la superficie cavernosa de la escoria. Esto indica que, reemplazando la escoria de acero por agregado grueso, afectaría en mantener o aumentar la resistencia mecánica con respecto a un concreto tradicional, siendo esto positivo para nuestro estudio. Además, su uso no perjudica químicamente a la pasta de concreto fresco.

- La tesis doctoral de Gonzáles (2015) que lleva por nombre **“Comportamiento y diseño de hormigones estructurales con áridos siderúrgicos EAF”**, elaborada en la Universidad Politécnica de Cataluña, tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad técnica de los áridos siderúrgicos para la fabricación de hormigones estructurales con protección radiológica, sustituyendo el 100% del árido grueso y 80% del árido fino. Los agregados usados en este trabajo son los calizos (o áridos naturales de cantera y usados para elaborar la mezcla de hormigón convencional), los siderúrgicos (proceso final que tienen las escorias negras, extraídas de las fábricas de

acero que usan hornos de arco eléctrico o EAF en sus siglas inglesas) y baríticos (de color blanquecino y estructura cristalina para la fabricación de hormigones de alta densidad). El autor plantea aprovechar al máximo los áridos siderúrgicos debido a su densidad mayor que un árido normal (de 3310 a 3570 Kg/m³) para lo cual hace dos campañas experimentales con probetas cilíndricas de 15x30cm para encontrar una dosificación correcta de los materiales, sirviendo los resultados del primero al segundo. En la segunda campaña, hacen 6 tandas: 4 para los áridos siderúrgicos (dos agregando arena silíceas y dos agregando arena caliza para darles mayor trabajabilidad), una tanda para hormigones convencionales y la última tanda para hormigones con áridos baríticos. Los tamaños de los áridos siderúrgicos para reemplazar el agregado grueso están entre la malla N°4 y 3/4", una relación a/c de 0.51, un aditivo fluidificante para obtener el slump de 3"-4". Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión son que los hormigones con áridos siderúrgicos superan el valor de la resistencia de diseño (30 MPa) obteniendo resistencias que van de 45 a 50 MPa siendo estos valores superiores al de los hormigones con áridos baríticos en un 25%; pero no habiendo mucha diferencia con los valores de los hormigones convencionales ($\pm 5\%$). Mientras que los resultados del ensayo de penetración de agua bajo presión que mide la permeabilidad del hormigón, indican de manera general que los hormigones convencionales tienen menos permeabilidad al agua a diferencia de los hormigones siderúrgicos y baríticos. Pero aun así, los hormigones siderúrgicos cumplen con la normativa europea EN 12390-8 de tener una permeabilidad media por debajo de la medida que debe tener un hormigón impermeable (30 mm); sobre todo los que están adicionados con arena silícea (permeabilidad menor a 10 mm).

Los resultados obtenidos, se ven influenciados también por la adición responsable del aditivo fluidificante, ya que este contribuye en los dos comportamientos analizados: aumentado la resistencia a la compresión y reducción de la permeabilidad del agua. Además, para asegurar su comportamiento es posible agregar arenas correctoras (granulometría menor a la malla del tamiz N°8) para suplir la ausencia de finos si lo fuera necesario. Por lo tanto, esta investigación contribuye a que se puede hacer uso de los hormigones con áridos siderúrgicos ya que si pueden hacer de función estructural y radiológica.

- En la tesis de Pérez (2015) titulada **"Estudio de durabilidad del hormigón con áridos siderúrgicos de horno de arco eléctrico"**, elaborada en la Universidad Politécnica de Cataluña, tiene como propósito analizar los efectos en la durabilidad que pueden sufrir los hormigones fabricados con áridos siderúrgicos de horno eléctrico, principalmente de escorias de acero. en sustitución al 100% de los áridos

convencionales para aplicaciones que puedan dar un valor añadido al árido siderúrgico y así poder promover su uso. Las muestras que usaron consisten en seis distintas dosificaciones de hormigón objeto de esta tesis, entre los cuales hay: un hormigón convencional (HC), cuatro hormigones elaborados con escoria de horno de arco eléctrico (HS) en sustitución al árido natural al 100% con agregado de finos calizos o silíceos, y un hormigón con árido barítico (HAB), siendo este último el árido que se usa para elaborar hormigones de alta resistencia en la zona de estudio. Este trabajo concluye que, a través del ensayo de hielo y deshielo que determina la degradación de los hormigones, los hormigones con áridos siderúrgicos mantienen su integridad estructural y requisitos de durabilidad.

Esta investigación contribuye a que los concretos con escorias de arco eléctrico tienen buen comportamiento ante ambientes agresivos, como lo demuestra su estudio de hielo y deshielo. Una posible explicación de este fenómeno es la alta porosidad que poseen estos áridos siderúrgicos y que actúan como cámaras de expansión que en estado de congelación, facilitan la formación de hielo disminuyendo las presiones internas que se generan en el hormigón reduciendo así sus daños.

- En la tesis de Cuásquer y Altamirano (2015) titulada “**Evaluación del uso de escorias de acero en la producción de Hormigón**”, elaborada en la Universidad de Fuerzas Armadas – ESPE Ecuador, propone determinar la utilidad de agregar escorias negras de acería, procedentes de los altos hornos de arco eléctrico y afino, en la dosificación y producción de hormigón hidráulico de tal manera que se innove como un material provechoso en proyectos sostenibles a futuro y así contribuir en la reducción del impacto ambiental. Los autores demuestran que al ir reemplazando el agregado fino por escoria de acero en un porcentaje de 10% y 20%, este no cumple con el huso granulométrico que norma en ese país, en cambio, usando la escoria sola si llega a cumplir. De esto, se obtuvo que el hormigón hidráulico con escoria de acero presenta un incremento de 33.17% en la resistencia a la compresión, 26.77% en la resistencia a la flexión, 26.87% en el módulo de elasticidad, 39.72% en la resistencia a la tracción, todo esto comparado con el hormigón hidráulico elaborado con materiales convencionales.

A pesar que el reemplazo se hace hacia el agregado fino o arena en lugar de la piedra, la investigación no deja de aportar y demostrar que la escoria de acero sigue cumpliendo con los estándares que rigen en esta parte de Sudamérica, pero hace hincapié más que todo en el uso de uno de los tipos de escoria: escoria proveniente de los hornos de arco eléctrico. Esta precisamente es rica en Hierro y Magnesio.

- En la tesis de Amaral (1999), titulada **“Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental”**, elaborada en la Universidad Politécnica de Cataluña de España, busca estudiar las posibilidades de utilización de las escorias como áridos para hormigón. Los objetivos principales que se han fijado para el desarrollo del trabajo son: garantizar la estabilidad de los materiales obtenidos con escorias de horno eléctrico de forma que no influyan negativamente en el hormigón, evaluar las prestaciones mecánicas aportadas por la escoria como árido en comparación con un árido convencional, estudiar los factores principales que afectan a la durabilidad de los hormigones fabricados con estas escorias y contribuir al estudio de la hidratación de las escorias, tanto en su reactividad como a sus productos de hidratación, de forma que sirvan para la interpretación de los resultados obtenidos con hormigones. El tipo de escoria usada en el estudio es la escoria negra, obtenida de los hornos de arco eléctrico y se han aplicado en dos casos: sustituyendo por agregado fino y por agregado grueso.
La investigadora contribuye en este trabajo a que este tipo de escoria es adecuada para poder utilizarla en hormigón, pero usando tamaños de hasta 100 mm, ya que esta granulometría presenta estabilidad, tiene mejor zona de contacto y adherencia con la pasta de cemento. En cuestión de la resistencia mecánica, demuestra que los hormigones con escoria poseen resistencias superiores a los hormigones de referencia, ambos fabricados con la misma relación A/C y mismo asentamiento. En lo relativo a las propiedades físicas, los hormigones con escorias son más densos que el hormigón convencional, aunque sin llegar a ser clasificados como pesados. Además, evaluaron la permeabilidad obteniendo que, las probetas de hormigón con escoria que reemplaza el árido grueso, tuvo como valor promedio 28 mm de penetración de agua, a diferencia de las probetas de hormigón patrón que tuvo una penetración de agua de 50 mm, en otras palabras el hormigón con escoria es más impermeable.
- En la tesis de Berridi (2008), titulada **“Análisis de la influencia de residuos metalúrgicos como áridos en las propiedades del hormigón”**, elaborada en la Universidad Politécnica de Cataluña de España, tienen como objetivo analizar el comportamiento estructural y dar especificaciones técnicas relativas a las propiedades mecánicas, de los hormigones fabricados a partir de arenas de fundición, escorias de alto horno y escorias de horno eléctrico. El forma de trabajo que usaron fue con cuatro materiales de origen metalúrgico diferentes; arenas de fundición verde, arena de fundición con bentonita, escorias de alto horno y escorias de horno eléctrico. Con ellos se han fabricado 9 hormigones, uno para cada arena y 3 para cada tipo de escoria con sustituciones del 25%, 50% y 100%. Una vez verificado que todos los materiales

cumplen las limitaciones marcadas por la norma se ha procedido a la fabricación de los hormigones. La fabricación se ha dividido en tres fases. La primera fase con relación a/c efectiva de 0,55 la segunda 0,5 y la tercera con una relación de 0,52. También fueron estudiadas propiedades tales como la permeabilidad, el choque térmico o la difusión de cloruros.

Como nuestra tesis se refiere más al material de la escoria obtenido de los hornos eléctricos, hablaremos sobre el aporte de los resultados obtenidos de este. Como conclusiones tenemos que cuanto mayor es el porcentaje de sustitución, mayor es la densidad del hormigón pero presentan peores resultados de resistencia a la compresión a medida que este porcentaje aumenta en la relación a/c de 0.55, caso contrario ocurre en la relación a/c de 0.50 en la que a mayor sustitución de escoria, también es ascendente la resistencia a la compresión. Otro dato a tomar en cuenta en la elaboración de probetas, es lo poco trabajable que es la mezcla de un hormigón con el 100% de escoria sustituida, por lo que los autores tuvieron que añadir más aditivo para contrarrestar este efecto. Además, este tipo de hormigón al ser sometido a altas temperaturas, su resistencia a la compresión se mantiene aún por encima que un hormigón convencional. Por lo tanto, la relación a/c debe ser controlada al momento de usar los concretos con escorias, pues a mayores valores de este tendremos una resistencia pobre del concreto.

b) Nacionales

- En la tesis de Marquina (2008), titulada **“Uso de las escorias obtenidas como sub producto de la elaboración de acero de la planta nº2 de Aceros Arequipa – Pisco para fines de cimentación y pavimentación”**, elaborada en la Universidad Ricardo Palma de Lima; plantea la utilización de las grandes cantidades de depósitos de escoria y polvo Baghouse, que son subproductos de la elaboración del acero de la planta de Aceros Arequipa de Pisco, como agregados para fines de cimentación y pavimentación teniendo en cuenta además la eliminación de espacios destinados al almacenamiento de estos derivados. Tiene como objetivo determinar las propiedades de la escoria de la elaboración del acero y el polvo baghouse, así como determinar cuál es el óptimo porcentaje de combinación entre ambos con el cual se obtienen mejores parámetros para fines de cimentación y pavimentación mediante los ensayos granulometría, Límites de Consistencia, Proctor, CBR, Equivalente de Arena, Gravedad Específica y Corte Directo, de manera de poder diseñar estructuras confiables y con el menor costo posible. Las escorias de su estudio contienen porcentajes importantes de FeO (óxido de hierro) y presentando además bastante porosidad. Después de los ensayos realizados a la escoria, el autor llegó a la

conclusión que es un excelente agregado para fines de base y Subbase, cumpliendo con la mayoría de las normas ASTM y AASHTO para pavimentos, salvo los parámetros de porcentajes mínimos de cantidad de finos, por lo que se combinó con el polvo de Baghouse para cumplir con estos requisitos y darle liga a las escorias. Además, determinó que se tiene un buen desempeño y ahorro al usar a la escoria en estado natural como sub-base y las combinaciones con polvo como Base, destacando la combinación de 10% de polvo de Baghouse con 90% de Escoria y esta última combinación también respondió mejor a los ensayos de capacidad portante arrojando 8% más que los esfuerzos admisibles de la propia escoria en estado original.

Si bien la tesis es más aplicada al área de pavimentos, el aporte de este trabajo son las propiedades físicas que tiene la escoria de acero obtenida de la misma empresa que nuestra investigación.

- En la tesis de Zelada (2016) titulada **“Valoración Económica de la escoria de horno eléctrico de SIDERPERÚ como producto alternativo a la piedra cantera en el sector construcción”**, elaborada en la Universidad Nacional de Trujillo, se proponen como objetivos determinar el porcentaje de reemplazo del agregado grueso y agregado fino por la escoria de horno eléctrico, que provoque la máxima resistencia a la compresión en concretos de cemento portland curados en 1, 3, 7 y 28 días. Para poder establecer la viabilidad técnica de la escoria de horno eléctrico como agregado se recopilaron las propiedades físicas y químicas proporcionadas por empresa que lo suministra; como su granulometría con partículas de tamaño que van de 3/8” a 1” en su mayor composición (40%) y de 1”-2” (30%) y una composición química en su mayoría de calcio (Ca 19%) y hierro (Fe 18%). En la elaboración de sus probetas cilíndricas de 15x30 cm de concreto toma en cuenta: divide sus muestras de escoria en M-1 para las partículas menores a 3/8” (para reemplazar la arena) y M-2 para las partículas de rango 3/8”-1” (para reemplazar la piedra) siendo la última muestra la que cumple con los límites de los porcentajes de material pasante del huso 67, usa una relación a/c de 0.68 y añade a la mezcla un aditivo plastificante (Sikament 290N). El autor concluyó que los concretos fabricados con la escoria de horno eléctrico presentan elevadas resistencias a la compresión, pues con reemplazar el 75% de arena y 100% de piedra en un concreto convencional, se tiene valores de 21.6 y 41.6% más que el concreto patrón, a 7 y 28 días de curado respectivamente, pero presentaron un bajo asentamiento.
- El aporte de sus resultados, es prometedor para nuestra investigación, ya que reafirma las bondades de la escoria, pero debemos tomar en cuenta que la granulometría apropiada a usar de la escoria es la que está entre el rango de 3/8” y 1”. Estos tamaños mejoran enormemente la adherencia de agregado-pasta.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Resistencia a la Compresión

2.2.1.1. Resistencia Mecánica

a) Concepto:

Hibbeler (2006) expone que la resistencia mecánica de un material es su capacidad de resistir fuerzas o esfuerzos. Es la forma en que un material soporta fuerzas de tensión, compresión, de impacto, cíclicas o de fatiga, o fuerzas a altas temperaturas.

b) Clasificación:

Según Gere (2012) y Hibbeler (2006), coinciden con la siguiente clasificación de la resistencia:

- Esfuerzo de Tensión: Es la fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie real o imaginaria de un medio continuo. Esta definición se aplica tanto a fuerzas localizadas como fuerzas distribuidas, uniformemente, que actúan sobre una superficie. La tensión mecánica se expresa en unidades de presión, es decir la fuerza dividida entre el área.
- Esfuerzo de Compresión: Es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección.
- Esfuerzo Cortante: Este tipo de esfuerzo busca cortar el elemento, esta fuerza actúa de forma tangencial al área de corte.

2.2.1.2. Resistencia a la Compresión del Concreto

a) Concepto:

Según National Ready Mixed Concrete Association (S.F), la resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión.

La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) en unidades corrientes utilizadas en EEUU o en megapascuales (MPa) en unidades SI. Los requerimientos para la resistencia a la

compresión pueden variar desde 2.500 psi (17 MPa) para concreto residencial hasta 4.000 psi (28 MPa) y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 10.000 psi (70 MPa) y más. Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura.

Otra definición dada, como la de Rivva (2000), afirma que la Resistencia es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse. La resistencia a la compresión se utiliza como índice de calidad del concreto. En pavimentos suele utilizarse la resistencia a la flexión. La resistencia al corte no se utiliza.

Por su propia naturaleza, la resistencia del concreto no puede ser mayor que la de sus agregados. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los concretos convencionales dista mucho de la que corresponde a la mayoría de rocas empleadas como agregado, las mismas que se encuentran por encima de los 1000 kg/cm². Por esta razón no se ha profundizado el análisis de la influencia del agregado en la resistencia del concreto.

Lo expresado anteriormente es de fácil comprobación, si se observa la fractura de los especímenes de concreto sometidos a ensayos de compresión. En ellos la rotura se presenta en el mortero o en la zona de adherencia con el agregado grueso y, por excepción, en los agregados descompuestos o alterados.

Pero Abrams (1918), indicó que en un conjunto dado de materiales y condiciones de trabajo, el factor determinante de la resistencia era la relación agua-cemento de diseño en la que se excluye el agua adsorbida por el agregado. En esta teoría las resistencias son mayores con la disminución de la relación agua-cemento.

b) Factores que Influyen sobre la Resistencia a la Compresión

Niño (2010) sustenta que la resistencia está en función de cuatro factores:

- Relación Agua/Cemento
- Relación Cemento/Agregado
- Granulometría, dureza, perfil y textura superficial del agregado
- Tamaño máximo del agregado

Del concepto anterior, se ha complementado luego con las teorías sobre grado de hidratación, relación gel-espacio y resistencia por adherencia pasta agregado.

Según Rivva (2000), hoy en día se acepta que la resistencia a la compresión puede ser desarrollada a una edad determinada por una mezcla de materiales dados, que varían en función de:

- La marca, tipo, antigüedad, superficie específica y composición química del cemento.
- La calidad del agua.
- La dureza, resistencia, perfil, textura superficial, porosidad, limpieza, granulometría, tamaño máximo y superficie específica del agregado.
- Las adiciones minerales empleadas.
- Los aditivos químicos empleados.
- La resistencia de la pasta.
- La relación del agua libre de la mezcla al material cementante.
- *La relación material cementante-agregado.
- La relación del agregado fino al agregado grueso.
- La relación de la pasta a la superficie específica del agregado.
- La resistencia por adherencia pasta-agregado.
- La porosidad de la pasta.
- La permeabilidad del concreto.
- El grado de hidratación del cemento.
- La relación gel-espacio.
- La presencia intencional en la pasta de fibra metálica, de vidrio o plástica.
- Las condiciones del proceso de puesta en obra.

A continuación una breve descripción de los factores que afectan la resistencia:

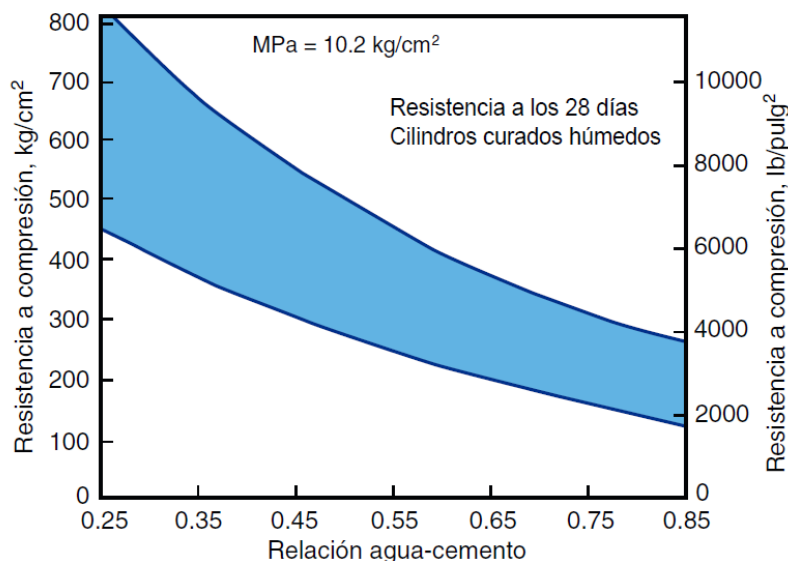
- **Proporciones de la Mezcla, Relación Agua / Cemento**

Waddell y Dobrowolski (1997), comentan que si se combinan materiales satisfactorios en una mezcla trabajable de concreto que se deja envejecer en condiciones satisfactorias de curado, la relación agua/cemento de la mezcla influirá mucho sobre la resistencia del concreto endurecido con un envejecimiento dado. La posición exacta de la curva de resistencia contra la relación agua/cemento dependerá de las propiedades de cada uno de los ingredientes, las proporciones de los ingredientes, los métodos de mezclado y colado y los métodos de curado.

Para Niño (2010), la resistencia del concreto está estrechamente relacionada con la relación a/c, de tal manera que entre mayor sea el contenido de agua de mezclado, mayor será la cantidad que no se cambia con el cemento, y por consiguiente, al disiparse la parte de agua evaporable la pasta será más porosa y la resistencia del concreto disminuirá.

En la figura a continuación, se muestra de manera gráfica la variación de la resistencia en función de la relación a/c. Esta gráfica se basa en más de 100 diferentes mezclas que han recopilado Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi (2004).

Figura 1: Variación de la resistencia a la compresión en función de la relación a/c



Fuente: Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Kosmatka et al (2004)

- Contenido y Tipo de Cemento

Waddell y Dobrowolski (1997), citan: los materiales, consistencia y densidad constantes, la resistencia del concreto aumenta con la proporción de cemento en la mezcla, hasta que se alcanza la resistencia del cemento o el agregado, según el que sea más débil. El concreto hecho con cemento de alta resistencia temprana (tipo III) tiene una resistencia relativamente alta con envejecimiento de hasta 3 meses, pero después de ese tiempo su resistencia es ligeramente menor que la del concreto hecho con cemento normal (tipo I) e inferior en forma considerable que las resistencias de los concretos hechos con cemento modificado (tipo II), de bajo calor (tipo IV) o resistente al sulfato (tipo V).

- Tipos y Características del Agregado

Waddell y Dobrowolski (1997), relatan que las características de los agregados que influyen sobre la resistencia del concreto, comprenden la forma de la partícula, textura, tamaño máximo, solidez, gradación y ausencia de materiales perjudiciales.

Por lo general, el efecto del tipo de agregado de peso normal, con propiedades y gradación satisfactorias, sobre la resistencia del concreto es pequeño, debido a que los agregados son más fuertes que la pasta de cemento.

Las curvas indican que la resistencia a la compresión varía inversamente con el tamaño máximo del agregado, para un cemento mínimo, que el tamaño máximo es menos importante en los rangos de resistencia más baja y que, en los rangos de resistencia más alta, en general los concretos que contienen los agregados de menor tamaño máximo desarrollan las resistencias mayores.

- **Aditivos**

Waddell y Dobrowolski (1997), explican: que el efecto de los aditivos sobre la resistencia del concreto varía mucho con las propiedades del aditivo y con las características de la mezcla de concreto. Los aditivos con efectos importantes sobre la resistencia incluyen los aceleradores, los reductores de la cantidad de agua, los que incluyen aire y los minerales finamente divididos.

El efecto usual de estos materiales es mejorar la resistencia a la compresión y la impermeabilidad del concreto endurecido.

- **Absorción y Permeabilidad**

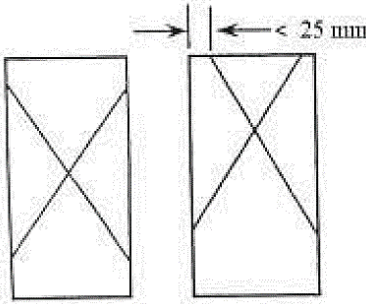
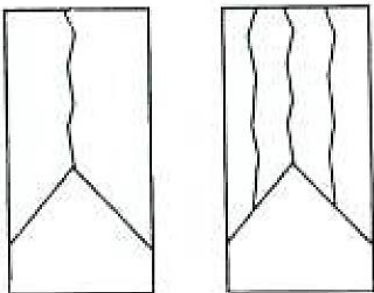
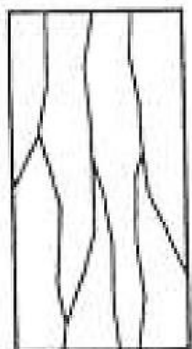
Rivva (2000), dice que los concretos homogéneos, especialmente cuando tienen aire incorporado, tienen baja permeabilidad. Esta puede ser aún menor cuando se incorpora a la mezcla aditivos reductores de agua. Los estudios realizados indican que determinados aditivos muestran una marcada reducción en la permeabilidad del concreto. Para lograr un concreto más durable frente a agentes agresivos la propiedad más importante es la permeabilidad.

La baja permeabilidad involucra una restricción del acceso de agua o soluciones provenientes de fuentes externas; o el movimiento interno de soluciones desde los poros a los sitios de reacción. En relación con su efecto sobre la permeabilidad, estructura de los poros, y durabilidad frente a la acción agresiva de elementos específicos el empleo de la microsílice en las mezclas proporciona una porosidad muy baja con un incremento de la impermeabilidad del concreto.

c) Tipos de falla en la evaluación de la resistencia a la compresión:


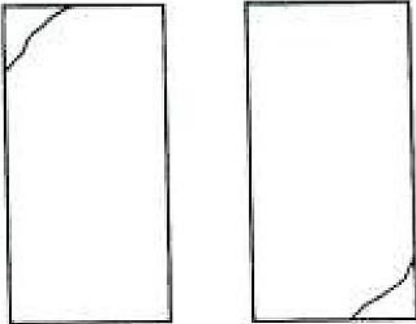

De acuerdo a la norma peruana NTP 339.034:2015, al aplicar la carga de compresión mientras el indicador de carga de la máquina de ensayo va disminuyendo progresivamente, la probeta mostrará un patrón de fractura bien definido (tipo 1 al 4) el cual se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 1: Fallas de las probetas generadas por el ensayo a Compresión – Pat. 1

TIPO DE FALLA	DESCRIPCIÓN
 <p>Tipo 1</p>	<p>Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas. Es decir, esta falla se da cuando se logra una carga a compresión bien aplicada sobre una probeta bien preparada. Es la falla más deseable en este tipo de ensayo</p>
 <p>Tipo 2</p>	<p>Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base. Es decir, esta falla se presenta por inclinación de una de las caras de la probeta moldeada.</p>
 <p>Tipo 3</p>	<p>Grietas verticales columnares en ambas bases, conos no bien formados. Esta falla se presenta más en probetas con una superficie de carga convexa y/o deficiente del material de cabeceo, además por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga</p>

Fuente: Norma peruana NTP 339.034 (2015)

Tabla 2: Fallas en las probetas generadas por el ensayo a Compresión – Pat. 2

TIPO DE FALLA	DESCRIPCIÓN
 Tipo 4	Fractura diagonal sin grietas en las bases; golpear con martillo para diferenciar del tipo 1. Es decir, esta falla se presenta en probetas que presentan una cara de aplicación cóncava y/o deficiente material de cabeceo
 Tipo 5	Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente en las capas de embonado. Es decir, la falla ocurre por deficiencias en el enrase de probetas moleadas, lo que produce concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga. Además, ocurre por deficiencias del material de cabeceo o rugosidad en el plato de cabeceo o placas de carga.
 Tipo 6	Similar al tipo 5, pero el terminal del cilindro es acentuado. Es decir, que se presenta en probetas que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o deficiencia del material de cabeceo del plato del cabeceador.

Fuente: Norma peruana NTP 339.034 (2015)

2.2.2. Permeabilidad del Concreto

a) Concepto:

Mattio (2014), define como permeabilidad a la velocidad con que el agua y otros líquidos fluyen a través del concreto por medio de los poros que contiene.

El volumen, tamaño y distribución de los poros y sus características, regulan la rapidez con que el concreto absorbe agua y otros líquidos o gases, y su permanencia en los mismos.

Los autores afirman que tener un concreto permeable es propenso a su desintegración, porque el agua que penetra en sus poros se expande por congelación sometándolo a tensiones que no puede soportar. Igualmente la fácil penetración de sulfatos, ácidos y otros productos químicos agresivos aceleran el proceso de destrucción del hormigón, así como de las barras de acero en los concretos armados.

Hermida (2014) se refiere a la permeabilidad al movimiento de un líquido en presencia de un gradiente de presión como es el que tiene lugar en las estructuras de contención de agua, el cual es medido sobre medios saturados, como el caso del concreto. Recordar que toda penetración de fluidos así como de gases en el interior del concreto, determina mayoritariamente su durabilidad. La penetración del agua está directamente relacionada con el ingreso, redistribución o pérdida de sustancias que pueden ser perjudiciales (sulfatos, cloruros, lixiviación de hidróxido de calcio y alcálisis, agua de mar) al concreto, al refuerzo o a ambos elementos. Solo es beneficioso la penetración del agua si en ciertos casos el concreto tiene función de drenaje, es decir diseñado como un filtro.

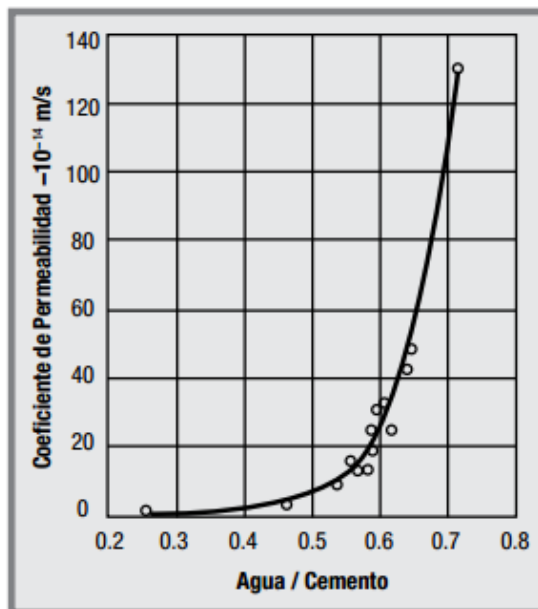
De esta manera, la penetración del agua se califica como un problema que puede comprometer el funcionamiento de la estructura, es por eso, que la reducción de la permeabilidad es una manera eficaz para mejorar la durabilidad del concreto, o mejor dicho, se busca que este sea impermeable.

b) Factores que afectan en la permeabilidad

- Influencia de la relación a/c: Mattio (2014) hace mención que con menores relaciones a/c, la concentración creciente de granos de cemento en la pasta deja menos espacio entre ellos para ser ocupados por el agua, al estar más unidos unos con otros. Inicialmente el espacio entre los granos de cemento forma una red continua llena de agua, formada por los poros capilares. A medida que los granos de cemento se van hidratando, generan cristales que bloquean los poros y esto hace al concreto menos penetrante. Los poros pequeños son bloqueados más fácilmente que los grandes, y mientras más granos de cemento se tengan

(menor relación a/c) el bloqueo será mayor, con lo que se consigue una menor permeabilidad y un concreto más durable.

Figura 2: Coeficiente de permeabilidad al agua en función de la relación a/c.



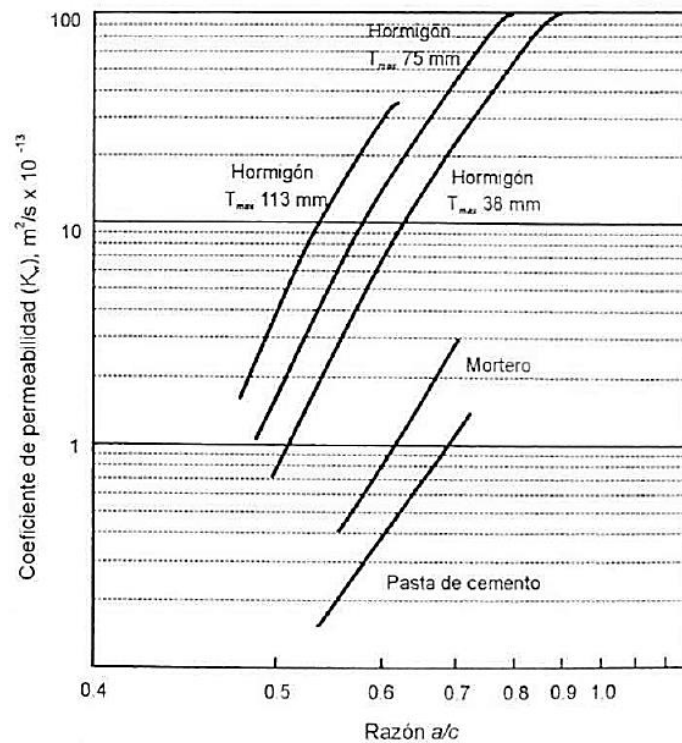
Fuente: La Permeabilidad al Agua como Parámetro para Evaluar la Durabilidad del Hormigón Parte I, Mattio (2014)

Mientras, Fernández y Navas (2011) nos recuerda que la relación a/c idónea depende del TM del agregado utilizado, la granulometría, la relación agregado grueso/cemento y el uso de aditivos. Por lo que, a pesar de la recomendación de usar relaciones agua/cemento cercanas a 0.30 para lograr concretos menos permeables, dicho valor variará de acuerdo a lo expuesto por estos autores.

- Influencia de la interface pasta-agregado: La zona de interface pasta-agregado presenta siempre una mayor porosidad, ya que según Mattio (2014), se debe a las diferentes condiciones de hidratación, efecto pared y acumulación de agua exudada (afectadas por el tamaño y la granulometría del agregado). Durante los periodos iniciales de hidratación, dicha zona es vulnerable a la fisuración, debido a los pequeños esfuerzos entre la pasta de cemento y el agregado, inducidos generalmente por la retracción por secado, contracción térmica y cargas aplicadas externamente. Las fisuras producidas poseen un tamaño mucho mayor que la mayoría de las cavidades capilares presentes en la matriz de la pasta de cemento, y por lo tanto son capaces de establecer las interconexiones que aumentan la permeabilidad del sistema. La siguiente figura muestra este

concepto para distintos concretos, sin embargo, no debe perderse de vista el efecto de la estabilidad dimensional relativa de pastas y concretos.

Figura 3: Variación del coeficiente de permeabilidad en función de la relación a/c para concretos de distinto TM, mortero y pasta de cemento.



Fuente: La Permeabilidad al Agua como Parámetro para Evaluar la Durabilidad del Hormigón Parte I, Mattio (2014)

- Influencia de los agregados: Los agregados ocupan alrededor del 75 % del volumen absoluto del concreto. Por ello, según Mattio (2014), tienen gran influencia en las propiedades del mismo. No sólo limitan la resistencia del concreto en muchos casos, sino que sus propiedades también afectan al desempeño del mismo durante su vida útil (durabilidad). Mientras mayor cantidad de agua demande la granulometría para una cierta trabajabilidad, mayor será la permeabilidad del concreto frente a sustancias agresivas que lo penetren y lo deterioren; por lo tanto menor será la durabilidad. El incremento en el tamaño máximo del agregado también afecta en la permeabilidad, dado que se magnifica la incompatibilidad mecánica y reológica con la pasta, alterando la zona de interface.

Otro factor muy importante que influye en la permeabilidad según Niño (2010), es la gradación del agregado porque permiten obtener concretos más densos y por lo tanto menos porosos. Esto quiere decir que las partículas no tienen que

ser uniformes en su tamaño porque estas generan más vacíos y requerirán mayor uso del agua, reflejándose en la elevada permeabilidad y baja resistencia.

- El agua de curado: Someter al concreto a un curado de manera continua e ininterrumpida, según como describe Niño (2010), hace que el tamaño de los vacíos sean reducidos y el concreto es menos permeable. Esto se produce debido a que se evita la evaporación inicial del agua de exudación previniendo la formación de fisuras y de redes capilares en el interior del concreto que permita que circule el agua, sulfatos y soluciones ácidas. Además, este autor señala que dejar secar el concreto antes de que quede expuesto permite que se forme una capa de carbonato de calcio que bloquea los poros y reduce la permeabilidad
- Tipo de Cemento: esta característica, según Kosmatka et al (2004), influye en la permeabilidad de concretos con cementos adicionados de Ceniza volante, escoria molida y puzolana natural. En su mayoría estas adiciones reducen la permeabilidad y la absorción capilar del concreto bien curado.

Un concepto interesante es el que mantiene Niño (2010), que afirma que mientras más fino es el cemento, menos permeables es. Esto tiene relación con lo dicho por Kosmatka, pues los cementos adicionados presentan elevada superficie específica, es decir, son más finos.

c) Métodos de medición de la Permeabilidad

Según Hermida (2014), los métodos que se emplean para determinar la permeabilidad del concreto se basan en dos principios básicos: flujo constante y penetración. El método de flujo constante consiste en atravesar de agua toda la longitud de la probeta por dos días y con el caudal obtenido, calcular su coeficiente de Darcy. Pero en concretos que en su composición contiene adiciones minerales, impermeabilizantes o son concretos que tienen baja porosidad; el método de flujo constante resulta ineficaz debido a que el flujo del agua tarda semanas en atravesar la probeta. Para estos casos, se encuentra el método de profundidad de penetración, que es similar a la anterior descrita, solo que luego de tres días se detiene el ensayo y se falla lateralmente la probeta midiendo la mancha de penetración de agua que se identifica sencillamente a la vista.

Sim embargo, este tipo de evaluación del concreto no es tan frecuente en las normativas internacionales de construcción más importantes debido a las limitadas especificaciones técnicas para medir la permeabilidad. Ejemplos por mencionar tenemos:

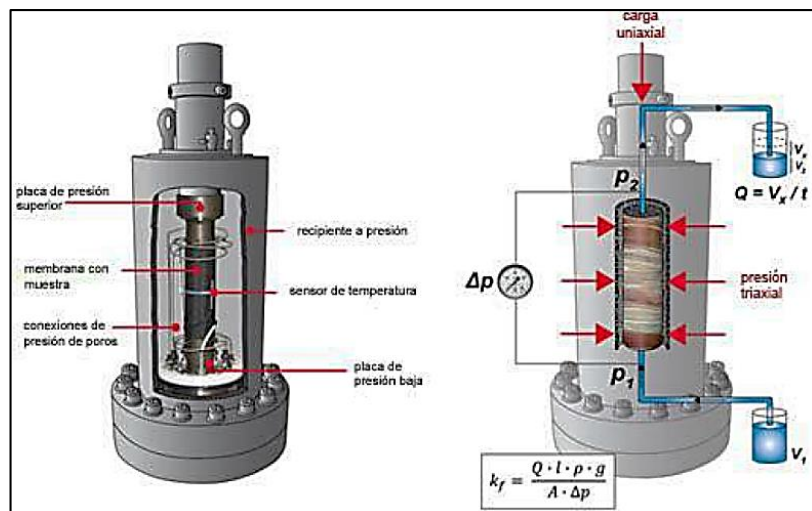
- El comité ACI 350 de título “Código de Requerimientos para estructuras de concreto de ingeniería ambiental” referido al diseño de estructuras de

- concreto reforzado para contener líquidos o gases, no mencionan la resistencia a la penetración al agua, permeabilidad o el coeficiente de Darcy.
- El comité ACI 318-14, en el capítulo 19 Requisitos de diseño y durabilidad del concreto, considera al agua como entorno agresor de categoría W especificando que para obras de concreto que requieran baja permeabilidad colocarlos en la categoría W1. No menciona hasta que parámetro medir la permeabilidad, solo que deben ser diseñadas con una resistencia no menor de 28 MPa y relación A/C no mayor a 0,5.
 - La norma ASTM, no presenta entre su listado de especificaciones referirse a la medición de la permeabilidad frente al agua, salvo la ASTM C1202, que consiste en determinar la resistencia a la penetración de iones cloruros a través de pruebas de conducción eléctrica.

A pesar de lo poco difundida que es la evaluación de la permeabilidad en el concreto, hay normativas las cuales, según Bustamante (2017) son puntuales en su medición:

- CRC C 163 92, que tiene como título “método estándar para permeabilidad al agua del concreto usando celda triaxial, pertenece al Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos. Este ensayo permite determinar la permeabilidad al agua del concreto utilizando una triaxial celular, y su cálculo se basa en la ecuación de Darcy para flujos en un medio permeable.

Figura 4: Esquema de una celda triaxial.



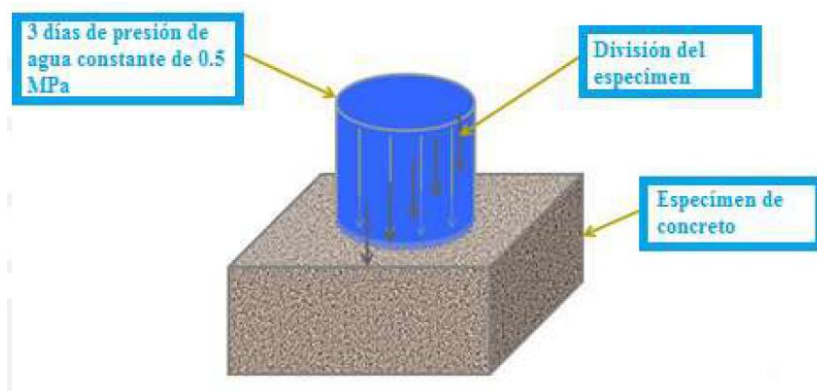
Fuente: Bustamante (2017)

- Norma EN 12390 Anexo 8 (2011), esta norma europea mide la profundidad de penetración del agua en muestras cilíndricas de concretos de 15 cm de

altura, sometidas a una presión hidrostática de 5 bar por un lapso de tres días. Además, este ensayo evalúa la resistencia del concreto contra la penetración de agua bajo presión hidrostática.

- c) DIN 1048-5, esta norma alemana similar a la EN 12390-8, da una medida de la resistencia del concreto contra la penetración de agua a los 28 días después de la elaboración de las probetas. Estas, son expuestas a una presión de agua de 5 bar durante tres días, posteriormente se verifica si fallaron a la prueba si el agua penetra a través de la superficie opuesta o por medio de los lados.

Figura 5: Esquema de realización de ensayo DIN 1048



Fuente: Bustamante (2017)

Para que un concreto sea definido de baja permeabilidad, debe presentar los siguientes valores, que están en función de las normativas con las que se aplica el ensayo. Cabe recordar que en nuestra investigación, se aplicará la norma europea UNE-EN 12390-8. Considerar que estos ensayos se realizan después de que las probetas de concreto han sido curadas en agua por 28 días.

Tabla 3: Valores de un concreto de baja permeabilidad

Ensayo	Normativa	Valor
Penetración de Agua	UNE-EN 12390-8	< 30 mm
Absorción Capilar (qw)	SIA 262/1 Anexo A	<6g/(m ² *h)
Retracción de Secado	ASTM C 157	< 0.07%

Fuente: Concreto de Baja Permeabilidad, algo más que disminuir a/c.
Hermida (2013)

2.2.3. Ecogravilla de escoria de acero

2.2.3.1. Origen de la escoria

Choque (2012) identifica a la escoria de tipo ferrosa, como un subproducto que se obtiene en la fusión del hierro o acero que está formada principalmente por la combinación de óxidos, fundentes, carga metálica, cenizas y revestimiento del horno. En otras palabras, es un material granular no metálico, subproducto del proceso siderúrgico en que el arrabio y/o la chatarra se refina para producir acero por lo cual se dividen en:

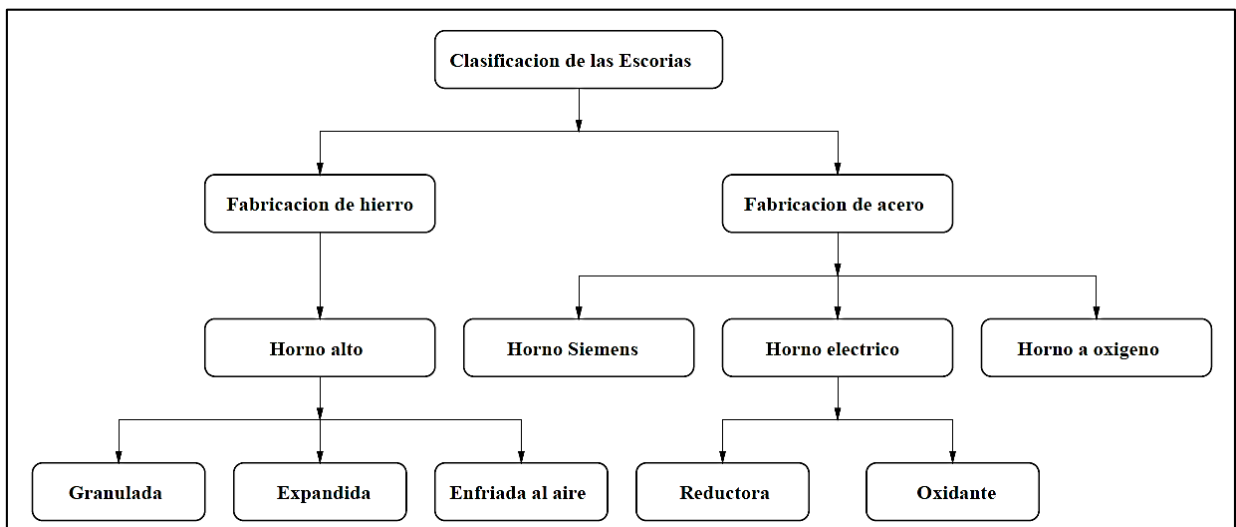
- Escorias de alto horno (hierro)
- Escorias de acería (acero)

Esta ultimo tipo de escoria, proveniente de las industrias siderúrgicas de hornos eléctricos (cuya materia prima es la chatarra), es la más activa en nuestro país. La utilización de la chatarra ofrece excelentes beneficios tanto en el producto final del acero como en el bajo costo en su adquisición. Además, la escoria que se obtiene es más accesible y a la vez reciclable.

2.2.3.2. Clasificación de la escoria

El estudio de Amaral (1999), clasifica a las escorias según su procedencia, de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 6: Clasificación simplificada de las escorias según la procedencia



Fuente: Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental, Amaral (1999)

A continuación, se explicara sobre las escorias de horno alto y eléctrico:

- a) **Escorias de horno alto:** Su composición química esta expresada en óxidos, teniendo como principales componentes al oxido de silicio, aluminio, calcio y magnesio, sumando juntos un 95% del total. Este tipo de escorias se utilizan en la fabricación de cemento siderúrgico en reemplazo del cemento portland como por ejemplo lo viene haciendo la empresa Cementos Pacasmayo en la elaboración del tipo MS, y también se utilizan como árido ligero, grueso y fino en carreteras y concretos. El tipo de aplicación depende de la manera que ha sido enfriada: al aire, granulada y expandida.
- b) **Escoria de acería:** esta se produce debido al proceso de refinado del hierro y acero fundido. Existen tres grandes procesos de fabricación del acero: usando horno de chorro de oxígeno (utiliza convertidor de oxígeno), usando horno de arco eléctrico y Open Heart (que utiliza horno Siemens-Martin). El proceso de fabricación de acero refinado consta de arrabio, chatarra y otros materiales para producir acero, ya sea en un horno básico de oxígeno o un horno de arco eléctrico. La cantidad de escoria que se genera en este proceso de fabricación de acero, .es de 110 a 150Kg. por tonelada de acero bruto. La empresa de Aceros Arequipa produce 143 Kg/Ton de acero.

2.2.3.3. Escorias de horno de arco eléctrico

a) Definición

Choque (2012) señala que las escorias de horno de arco eléctrico es un subproducto del proceso del acero. El acero fundido y la escoria se producen durante la fusión y el refinado de acero reciclado utilizando la energía eléctrica y flujos.

Las escorias se constituyen como producto de la oxidación de impurezas, la adición de cal para formar escorias, introducción al horno de residuos de las materias primas (hierro esponja, chatarra, etc.), residuos de material refractario, etc. Los componentes principales son óxido de calcio (CaO), óxido de fierro (FeO), óxido de magnesio (MgO) y óxido de silicio (SiO₂). La cantidad de escoria que se genera varía de acuerdo a la materia prima que se utiliza y al grado de mentalización del hierro esponja. Las escorias contienen porcentajes importantes de FeO y sus densidades alcanzan hasta 3.5 gr/cm³ pero con bajo valor en su densidad aparente, debido a que el material presenta bastante porosidad.

Para Gonzáles (2015), la transformación en producto granular estable mediante procesos de machaqueo, separación magnética y cribado se le conoce como

áridos de escorias de horno de arco eléctrico (en el caso de Aceros Arequipa, Ecogravilla). La aplicación de este material depende de sus propiedades y estabilidad volumétrica. Además, de acuerdo a lo investigado por el autor, no se observan problemas de desintegración, rotura e inestabilidad. La alta angulosidad y resistencia al impacto y pulimiento de la escoria negra le confieren unas propiedades idóneas para su uso también en mezclas bituminosas de carreteras.

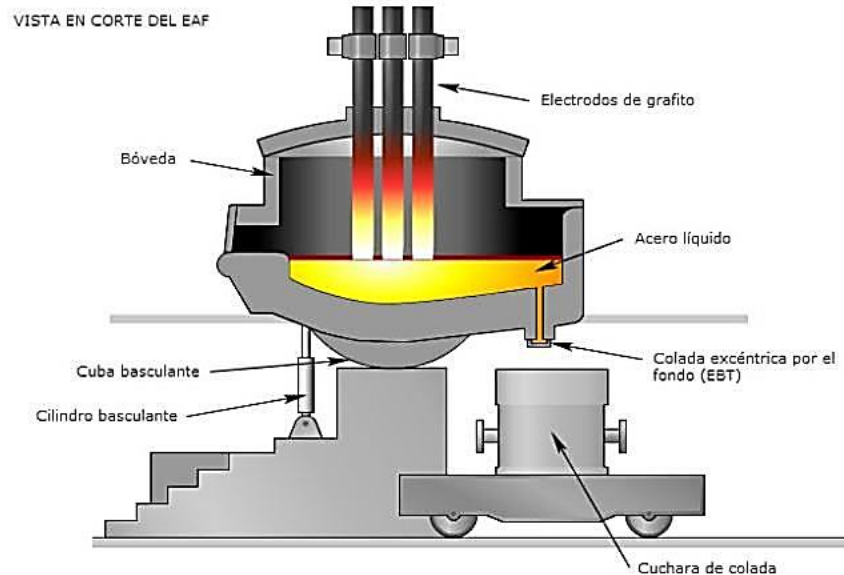
b) Etapas de obtención

Choque (2012) explica que la escoria es retirada del proceso de fusión mediante el proceso de desescoreo (producto del basculamiento del horno eléctrico y el retiro de la escoria por rebose. A las escorias obtenidas de este proceso se les llama escorias negras y blancas.

Esta escoria sale a una temperatura aproximada de 1590°C la cual cae a una poza construida de material refractario elaborado especialmente para resistir altas temperaturas, pero para darle mayor protección se coloca una cama de escorias frías que recepciona la escoria saliente. Aquí el material reposa de 6 a 12 horas, donde es removida con la ayuda de un cargador frontal y enfriada por medio de chorros de agua en forma de espray, una vez enfriado el material a temperatura aceptable (100 CO- 250 CO), la escoria está lista para ser transportado a otro lugar llamado zona de enfriamiento natural donde reposa aproximadamente 3 a 7 días hasta que este a temperatura ambiente.

La escoria ya fría es sometida al proceso de reciclaje de las partes ferrosas, en una planta separadora de metal, en este proceso se separa el material ferroso que es reutilizado en el proceso de aceración y la escoria de acería libre de material ferroso será transportado y acumulado en depósitos de desechos siderúrgicos mientras que una parte será reutilizado como cama de apoyo en los hornos de chorro de oxígeno y eléctricos.

Figura 7: Horno de arco eléctrico



Fuente: Fabricación y Procesamiento del Acero,

(metfusion.wordpress.com/2013/10/14/fabricacion-y-procesamiento-del-acero/)

Los agregados de escoria de acero en general, presentan una propensión a crecer volumétricamente, esto es debido a la presencia de cal libre (CaO) y los óxidos de magnesio (MgO) que no han reaccionado con el silicato, estructuras que pueden hidratar y aumentar el volumen en ambientes húmedos. Este carácter potencialmente expansivo (cambios de volumen de hasta el 10 por ciento o más atribuibles a la hidratación de óxidos calcio y magnesio) podría causar dificultades con algunos elementos que contengan la escoria de acero.

La escoria de acero destinado a ser utilizados como agregado debe ser almacenado al aire libre durante varios meses para exponer el material a la humedad y las precipitaciones naturales y/o la aplicación de agua por aspersión. El propósito de tal almacenamiento (envejecimiento), es permitir que potencialmente se elimine la hidratación y expansión a llevarse a cabo antes del uso de los materiales en aplicaciones globales. Existe una amplia variación en la cantidad de tiempo necesario para la adecuada exposición a los elementos. Hasta 18 meses pueden ser necesarias para el hidrato de óxidos expansivos. Este método es muy utilizado. El volteo de las escorias en los acopios es una manera efectiva para su estabilización y así conseguir un producto heterogéneo. Otros estudios, como el de Mancio (2001), revela que después de 90 días de exposición a la intemperie en época invernal la escoria posee una expansividad potencial inferior al 0.5% permitida para las aplicaciones en elementos de concreto.

c) Propiedades Físicas:

Choque (2012) describe a la escoria como un material que tiene superficialmente una textura rugosa, forma cúbica y angular. Internamente cada partícula es de naturaleza vesicular, con muchas celdas no intercomunicadas. La estructura celular se forma por los gases atrapados en la escoria caliente en el momento del enfriado y solidificación.

Como las celdas no forman pasajes interconectados, el término "vesicular o celular" es más aplicable que el término "poroso". Cuando la escoria líquida es sometida al proceso de trituración por agua, se forman fragmentos cúbicos con muy pocas partículas alargadas. Esta angulosidad, combinada con su textura rugosa y peso, hacen de ella un material ideal para balasto de vías férreas, bases granulares de carreteras, pavimentos asfálticos, tratamientos superficiales y sellos.

Nuestra escoria de estudio llamado Ecogravilla, procedente de los hornos eléctricos de Aceros Arequipa, están clasificadas como un suelo del tipo GW, que corresponden a una Grava bien gradada con tamaño máximo de sus agregados 3" y con un buen porcentaje de agregado grueso y agregado fino, sin embargo por ser un material granular presenta un bajo porcentaje de finos (limos y arcillas) menor al 4%. Así mismo su ensayo de Abrasión o desgaste con la maquina los Ángeles arroja valores de 30% en promedio lo que indica que las piedras ante efectos de compactación van a soportar una energía de compactación sin problemas, cumpliendo el valor obtenido con las normas.

Figura 8: Aspecto de la escoria procedente de Aceros Arequipa



Fuente: Propia

d) Propiedades Químicas:

Pérez (2015), especifica que la composición química y mineralógica es diferentes de acuerdo a su procedencia en referencia a las acerías. Pero se distinguen principalmente por la utilización de dolomita frente a la cal (CaO), produciendo un aumento en la magnesia (MgO) en la escoria. Mientras los valores de cal libre dependen de la cantidad de cal que se añade en el proceso. Las características químicas que han sido observadas, se pueden resumir que entre menor es la relación de CaO/SO₂ mayor es la disolución de MgO y consecuentemente peor será la calidad de la escoria.

A continuación, se presentara una figura con los valores típicos de la composición química de estos áridos dependiendo del lugar de procedencia, donde se observa que los compuestos de CaO, SiO₂, y FeO son los que tienen mayor contenido dependiendo del país, mientras que los otros no presentan grandes cambios.

Figura 9: Composición química de las escorias según el país de procedencia

País	CaO (%)	MgO (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	FeO (%)	MnO (%)	P ₂ O ₆ (%)	S (%)
Japón	40	4	25	5	19	7	-	0,006
Suecia	46	5	11	5	28	4	0,7	-
EEUU	41	10	17	8	18	4	0,6	0,2
Alemania	32	10	15	4	31	4	1,4	0,1
Brasil	33	10	18	6	30	5	-	-
Italia	41	8	14	7	20	6	0,9	0,1

Fuente: Pérez (2015)

En el Anexo 2, se presenta el resumen de los resultados del contenido de metales que contiene nuestra escoria de estudio, proveniente de Aceros Arequipa. Comparando con la figura nº 9, nuestra composición presenta valores semejantes a la composición química que tienen las acerías de EE.UU. con la diferencia que el contenido de FeO es el doble de lo que está presente en la Ecogravilla de escoria de acero. También la Ecogravilla presenta elevado contenido de CaO, debido a este material es la combinación de escorias negras y blancas (aun así el contenido de escorias negras es mayoritario)

2.2.4. Influencia del uso Áridos de Escoria de acero en el Concreto

El trabajo realizado en la tesis doctoral de Gonzáles (2015) presta mayor importancia a cómo se comportan los áridos de la escoria de horno eléctrico en el concreto. De los numerosos estudios que recopila, estos tienen en común que usan áridos de escoria

envejecidos (debido a la exposición al ambiente y riego de agua), uso de diferentes porcentajes que sustituyen los áridos naturales (arena y/o piedra) por áridos siderúrgicos. En líneas generales, Gonzáles muestra que las propiedades mecánicas de los concretos siderúrgicos obtenidas fueron similares o mayores a las correspondientes a un hormigón convencional, aun habiendo reemplazando la arena. A continuación, se describirá cada propiedad del concreto influenciado por la aplicación de los áridos de escoria de acero según lo recopilado:

- **Trabajabilidad:** Mientras más alto contenido de los áridos siderúrgicos tenga el concreto convencional, menores serán los asentamientos y la trabajabilidad de la mezcla. Manso (2001) estudió un concreto fabricado únicamente por áridos siderúrgicos y este mostró una deficiencia de materiales finos teniendo como resultado un concreto con exceso de porosidad; aunque cuando elaboró la misma dosificación pero usando el 100% de árido grueso siderúrgico y 100% de árido natural se tiene valores admisibles del asentamiento. Por ello, si se usa áridos siderúrgicos se recomienda que se use la misma dosificación pero de los áridos finos que el 35% sea de arena. Además, para mejorar esta propiedad de la trabajabilidad, considerar la aplicación de un aditivo plastificante para incrementar su plasticidad, fluidez y docilidad (así como su resistencia).
- **Densidad:** Debido a que el peso específico de los áridos siderúrgicos es alto, la densidad del concreto aumenta si se usa solo en la sustitución de los agregados gruesos, pero aun así este concreto no supera los 2800 Kg/m^3 para considerarlo "concreto pesado". Pero estudios como el de Abu-Eishah, El Dieb y Bedir (2012), demuestran que combinar los áridos de escoria de acero con otros residuos (como la ceniza volante) se puede obtener un concreto de resistencia 50 MPa y superar la densidad mínima para considerarlo concreto pesado (2810 Kg/m^3). Otra forma de aumentar la densidad del concreto es usando, según Pellegrino y Gaddo (2009), aditivos incorporadores de aire, pues en sus ensayos hacia el concreto obtuvo una densidad de 2950 Kg/m^3 .
- **Resistencia Mecánica:** Como se sabe, el agregado tiene una influencia importante en la resistencia del concreto tomando en cuenta sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas. Etxeberria, Pacheco, Meneses y Berridi (2010), observaron que los áridos siderúrgicos incrementan la resistencia a la compresión del 30% al 38% y en la resistencia a la tracción en 10% en comparación a los concretos convencionales. Así mismo Manso (2001), concluye que la resistencia a la compresión de un concreto con áridos de

escoria (reemplazando 100% el agregado grueso, 100% agregado grueso y 50% arena, 100% agregado grueso y 65% arena) es similar a la del concreto convencional. Y por último, Papapayani y Anastasiou (2010) sostiene que reemplazando los áridos de escoria por el 100% de agregado grueso hay un incremento del 10% en la resistencia a la compresión, pero el valor aumenta a 20% si además del agregado grueso reemplaza la mitad del agregado fino.

Se pueden seguir describiendo más estudios con resultados similares o mayores de la resistencia a la compresión que tiene un concreto con escoria que uno convencional pero todos llegan a coincidir que este comportamiento se debe a la rugosidad superficial que presentan los áridos de escoria de acero colaborando así a tener una mejor unión con la pasta de cemento, como describe Amaral (1999). La porosidad de la unión de la pasta y áridos siderúrgicos es muy inferior al del caso con áridos naturales.

Como se ha explicado en el punto 2.2.1, es muy importante la unión entre la pasta de cemento y agregados para resistencia a la compresión. Esta unión eleva su resistencia a medida que envejece el concreto.

- **Durabilidad:** La mayoría de estudios realizados a las probetas de concreto con áridos de escorias de acero no tienen relación con respecto a la variable de la permeabilidad, sino a otros aspectos de la durabilidad que deben poseer frente al ambiente. Pero, los resultados que obtuvo Gonzáles (2015) son que el concreto convencional tiene menor permeabilidad que los concretos con escorias de acero. Aun así, estos concretos logran cumplir con las características de un concreto impermeable de acuerdo a la norma EN 12390-8, pues la penetración del agua de sus probetas están por debajo de los 30 mm profundidad media. La explicación que da el autor sobre la impermeabilidad de sus concretos con escorias es posiblemente por el mayor contenido de aditivo plastificante, que produce una mejor dispersión del cemento y un sistema con menor tamaño de poros.

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis Global:

La sustitución de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

2.3.2. Hipótesis Específica 1:

La sustitución de un 20% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

Tabla 4: Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis específica 1

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de un 20% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.	V.I: 20% Ecogravilla de escoria de acero				
	V.D1: Resistencia al esfuerzo de Compresión		Incrementa	Laboratorio de QCE S.A.C. – Trujillo	28 días de Curado
		Probetas de Concreto			
	V.D2: Permeabilidad del Concreto		Disminuye	Laboratorio de SIKA PERÚ S.A.	

Fuente: Elaboración Propia

2.3.3. Hipótesis Específica 2:

La sustitución de un 35% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

Tabla 5: Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis específica 2.

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de un 35% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO y V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.	V.I: 35% Ecogravilla de escoria de acero				
	V.D1: Resistencia al esfuerzo de Compresión	Probetas de Concreto	Incrementa	Laboratorio de QCE S.A.C. – Trujillo	28 días de Curado
	V.D2: Permeabilidad del Concreto		Disminuye	Laboratorio de SIKA PERÚ S.A.	

Fuente: Elaboración Propia

2.3.4. Hipótesis específica 3:

La sustitución de un 50% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

Tabla 6: Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis específica 3

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de un 50% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.	V.I: 50% Ecogravilla de escoria de acero				
	V.D1: Resistencia al esfuerzo de Compresión		Incrementa	Laboratorio de QCE S.A.C. – Trujillo	28 días de Curado
		Probetas de Concreto			
	V.D2: Permeabilidad del Concreto		Disminuye	Laboratorio de SIKA PERÚ S.A.	

Fuente: Elaboración Propia

2.3.5. Hipótesis específica 4:

La sustitución de un 65% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

Tabla 7: Componentes Metodológicos y Referenciales de la Hipótesis específica 4.

HIPÓTESIS	COMPONENTES METODOLÓGICOS			COMPONENTES REFERENCIALES	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de un 65% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.	V.I: 65% Ecogravilla de escoria de acero				
	V.D1: Resistencia al esfuerzo de Compresión		Incrementa	Laboratorio de QCE S.A.C. – Trujillo	28 días de Curado
		Probetas de Concreto			
	V.D2: Permeabilidad del Concreto		Disminuye	Laboratorio de SIKA PERÚ S.A.	

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

3.1.1. Variable Independiente:

Ecogravilla de escoria de acero

3.1.2. Variables Dependientes

- Resistencia a la Compresión
- Permeabilidad del Concreto

Tabla 8: Matriz de Operacionalización de Variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	La resistencia a la compresión es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse. La resistencia a la compresión se utiliza como índice de calidad del concreto y es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras.	La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión y se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de kg/cm ² (Unidades del SI).	Tipo de falla	Fallas tipo 1, 2, 3, 4, 5 y 6 según NTP 339.034
			Esfuerzo a la compresión	0% → 202 a 206 Kg/cm ² 20% → 210 a 277 Kg/cm ² 35% → 223 a 304 Kg/cm ² 50% → 226 a 334 Kg/cm ² 65% → 195 a 258 Kg/cm ²
			Curado	7 días 21 días 28 días
PERMEABILIDAD DEL CONCRETO	La permeabilidad se refiere al movimiento de un líquido en presencia de un gradiente de presión como es el que tiene lugar en las estructuras de contención de agua.	La permeabilidad se mide sobre medios saturados. En el caso del concreto este debe estar saturado para poder medir la permeabilidad que se expresa en términos de m ³ /(m ²), es decir en m/s.	Penetración del agua	0% → 42.5 a 34.5 mm 20% → 35 a 29 mm 35% → 32.5 a 28 mm 50% → 29 a 20 mm 65% → 40 a 22.5 mm

Fuente: Elaboración Propia

3.2. Diseño de investigación

Cuasi-experimental: La característica fundamental de este tipo de diseño está en que el experimentador no puede hacer la asignación al azar de los sujetos a los grupos experimentales y de control. Sin embargo, si puede controlar alguna de las siguientes cuestiones: cuándo llevar a cabo las observaciones, cuándo aplicar la variable independiente o tratamiento y cuál de los grupos recibirá el tratamiento.

Diseño de post-prueba únicamente y grupos intactos

G1: X O1

G2: - O2

Dónde:

G1 = Grupo experimental.

G2 = Grupo testigo o control.

X = Tratamiento experimental.

- = Ausencia de tratamiento experimental.

O2 = Post-prueba o medición posterior al tratamiento experimental.

En el grupo O1 tenemos a las probetas cilíndricas de concreto elaboradas con cemento Tipo ICO y V que se les ensayara la resistencia a la compresión y permeabilidad, luego de haber aplicado los porcentajes (20, 35, 50 y 65%) de sustitución de piedra por la Ecogravilla de escoria y la O2 son las probetas que se les aplicara los mismos ensayos, pero sin adicionar algún material como la Ecogravilla

3.3. Unidad de estudio

01 Probeta de concreto convencional y 01 probeta de concreto con Ecogravilla de escoria de acero.

3.4. Población

Todas las probetas de concreto con adición de escorias siderúrgicas.

3.5. Muestra (muestreo o selección)

El procedimiento de muestreo para la variable “Resistencia a la compresión” es probabilística de tipo aleatorio simple, debido a que existen antecedentes acerca de la variable de estudio, además si se selecciona una muestra de “n” sujetos es posible que cada muestra del mismo tamaño “n” tenga la probabilidad de ser seleccionada.

En cambio, para la variable “Permeabilidad” el tipo de muestreo es no probabilístico por juicio debido a que el tamaño de muestra es representativa y adecuada para la variable de acuerdo a la opinión y conocimiento del tema por parte de nuestro asesor de tesis.

Para calcular el tamaño de la muestra para el muestreo probabilístico, se hará referencia a lo estipulado en el Manual de Estadística de la Universidad Privada del Norte (2016), que corresponde al caso de una variable cuantitativa, con una población infinita, correspondiente a la presente investigación, se hará uso de la siguiente fórmula:

$$n_o \geq \frac{Z^2 S^2}{E^2}$$

Donde tenemos que:

- n_o = Muestra.
- Z = Valor de distribución normal estandarizada, para el nivel de confianza.
- S = Desviación estándar de la variable fundamental de estudio.
- E = Error de estimación.

a) Para la evaluación de la resistencia a la compresión, se usarán los siguientes datos:

- Z = tendrá un valor de 1.96 por el nivel de confianza de 95%. Este porcentaje es escogido debido a que nos da un equilibrio entre la precisión y la confiabilidad de los datos. Además, excederse de este valor los costos del proyecto aumentarían por la cantidad de probetas a realizar.

Tabla 9: Valores de la distribución normal estandarizada

ERROR (Tipo I): Puede ser unilateral o bilateral			
Nivel de confianza (1- α)	Error (α)	Valor Z	
		Bilateral	Unilateral
90%	0.10	1.64	1.28
95%	0.05	1.96	1.64
99%	0.01	2.57	2.32
ERROR (Tipo II): Siempre es unilateral			
Poder (1- β)	Error (β)	Valor Z	
80%	0.20	0.842	
90%	0.10	1.282	
95%	0.05	1.645	
99%	0.01	2.326	

Fuente: Manual de Estadística UPN (2016)

- S = En la tesis de Zelada (2016), demostró para concretos en donde se sustituye la piedra por la escoria de acero tienen una resistencia promedio de 292.50 Kg/cm², con una desviación estándar de 17.02 Kg/cm²
- E = Consideraremos un error del 7% en función del promedio, obteniendo un valor de 20.48 Kg/cm²

Al reemplazar los valores:

$$n_o \geq \frac{1.96^2 \times 17.02^2}{20.48^2} \cong 3$$

Por lo cual, la cantidad de probetas se distribuirá de la siguiente manera:

Tabla 10: Distribución de probetas para la evaluación de la Resistencia a la Compresión para cada tipo de cemento

Cemento Tipo ICO		Cemento Tipo V	
% de sustitución por piedra	Probetas con Ecogravilla	% de sustitución por piedra	Probetas con Ecogravilla
20%	3	20%	3
35%	3	35%	3
50%	3	50%	3
65%	3	65%	3
TOTAL	12	TOTAL	12

Días de Curado	Probetas con Ecogravilla	Probetas Control (sin Ecogravilla)	
		Tipo ICO	Tipo V
7 días	24	3	3
21 días	24	3	3
28 días	24	3	3
TOTAL=		90	

Fuente: Elaboración Propia

- b) Para la evaluación de la permeabilidad del concreto, se muestra la cantidad de muestras en la siguiente tabla:

Tabla 11: Distribución de probetas para la evaluación de la permeabilidad del concreto para cada tipo de Cemento

Cemento Tipo ICO		Cemento Tipo V	
% de sustitución por piedra	Probetas con Ecogravilla	% de sustitución por piedra	Probetas con Ecogravilla
20%	2	20%	2
35%	2	35%	2
50%	2	50%	2
65%	2	65%	2
TOTAL	8	TOTAL	8

Días de Curado	Probetas con Ecogravilla	Probetas Control (sin Ecogravilla)	
		Tipo ICO	Tipo V
28 días	16	2	2
TOTAL=		20	

Fuente: Elaboración Propia

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.6.1. Técnica para la recolección de datos:

La técnica que se usó para obtener la información necesaria para dar respuesta a la formulación del problema es la Observación, debido a que por esta técnica nosotros hemos tomado los datos de acuerdo a una determinada realidad para conocer las características de la unidad de estudio y así pudimos predecir una tendencia que se ve reflejada en la hipótesis.

3.6.2. Instrumento para la recolección de datos:

El instrumento usado fue de la Guía de observación, la cual fue planteada en función de los indicadores mostrados en el cuadro de Operacionalización de Variables. Es decir, se tendrán dos tipos de guías de observación de acuerdo a las variables de Resistencia al esfuerzo de compresión y permeabilidad. A continuación se mostrará los formatos usados para recolectar los datos:

Tabla 12: Formato - Guía de observación para los datos de Resistencia a la compresión

GUÍA DE OBSERVACIÓN N°					
AUTORES:					
LUGAR:					
ENSAYO:					
EQUIPO:					
TIPO DE CEMENTO:					
PROBETAS A DÍAS DE CURADO					
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
			PROMEDIO		

Fuente: Elaboración Propia

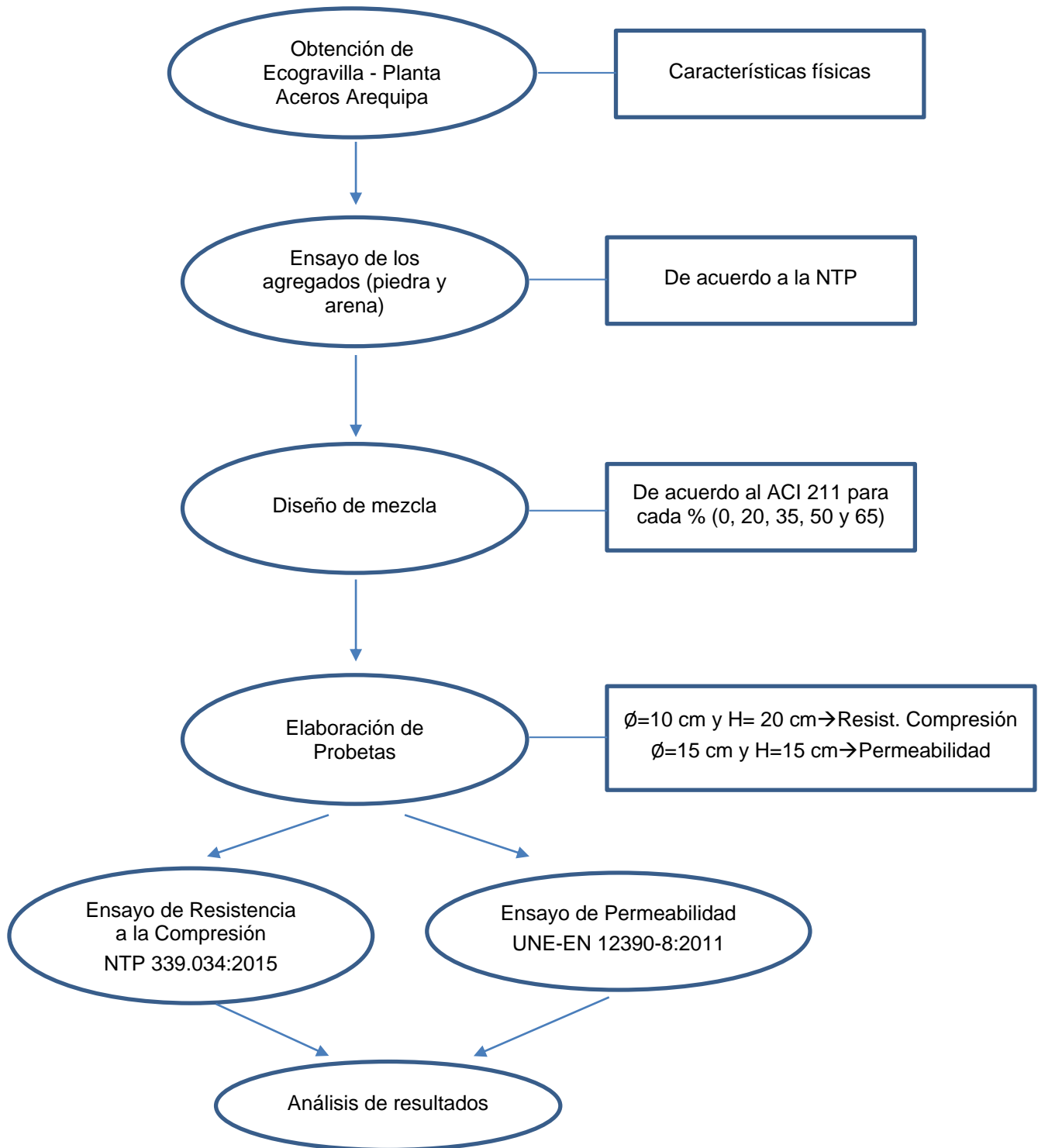
Tabla 13: Formato - Guía de observación para los datos de Permeabilidad

GUIA DE OBSERVACIÓN N°				
AUTORES:				
LUGAR:				
EQUIPO				
ENSAYO				
TIPO DE CEMENTO:				
PROBETAS A DÍAS DE CURADO				
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE DE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE ENSAYO	PENETRACIÓN DEL AGUA (mm)
		PROMEDIO		

Fuente: Elaboración Propia

3.6.3. Procedimiento para recolectar datos

Figura 10: Diagrama de procesos para recolección de datos



Fuente: Elaboración Propia

3.6.3.1. Obtención de la Escoria de Acero

La escoria de acero se obtendrá de la planta de fabricación de acero Aceros Arequipa ubicada en la ciudad de Pisco. Este material se usará tal y como viene de la fábrica, es decir, sin separarla en función de su granulometría.

3.6.3.2. Clasificación de Agregados:

- **NTP 400.010, (2011): AGREGADOS.** Extracción y preparación de las muestras.

La presente norma presenta los lineamientos de muestreo de agregado fino y grueso para realizar una investigación preliminar de la cantera para llegar a la conclusión de su aceptación o rechazo de los materiales.

3.6.3.3. Ensayos de laboratorio de los agregados

- **NTP 400.012, (2013):** Ensayo de Granulometría

Las partículas son tamizadas por una serie de mallas de aberturas conocidas y pesar los materiales retenidos refiriéndolos en porcentaje con respecto al peso total, a esto se le denomina análisis granulométrico, que es la representación mínima de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

- **NTP 400.012, (2013):** Tamaño Máximo Nominal

Su valor corresponde al tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. Su porcentaje de retención está entre el 5% y 10%.

- **NTP 339.185, (2013):** Contenido de Humedad

Es la cantidad de agua superficial que retienen en un momento determinado las partículas de los agregados. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en diseño de mezclas.

- **NTP 400.017, (2011):** Peso Unitario

El peso unitario o aparente de los agregados es su peso tal como se encuentra en la realidad, es decir incluye los vacíos entre partículas, este peso es variable dependiendo del grado de capacidad o de humedad, además varía con el tamaño, forma y granulometría del agregado. La obtención del peso unitario del agregado es importante ya que este valor

sirve para calcular las cantidades de materiales para la mezcla y para convertir volúmenes en peso y viceversa.

- **NTP 400.021, (2013):** Peso Específico (agregado grueso)
- **NTP 400.022, (2013):** Peso Específico (agregado fino)

El peso específico es un índice de calidad del agregado, cuando los valores son elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que los valores bajos corresponden a agregados débiles y absorbentes. El peso específico es la relación, a una temperatura estable de la masa de un volumen unitario de agua destilada libre de gas.

- **NTP 400.022, (2013):** Porcentaje de Absorción (agregado grueso)
- **NTP 400.022, (2013):** Porcentaje de Absorción (agregado fino)

Llamamos absorción a la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en ésta, se expresa como porcentaje en peso. Tiene importancia pues refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerlo en cuenta para hacer las correcciones necesarias.

- **NTP 400.012, (2013):** Módulo de Fineza

El módulo de fineza es un indicador de la finura de los agregados, puesto que cuanto mayor sea el módulo de fineza, más grueso es el agregado.

3.6.3.4. Procedimiento del Diseño de Mezclas del concreto – ACI 211:

Luego de evaluar el los aridos naturales y siderúrgicos, se recolectan para poder elaborar el diseño de mezclas, que seguirá el método del comité ACI 211, los cuales en resumen se seguirán lo siguientes pasos:

- 1) Selección de la resistencia promedio a partir de la resistencia en compresión especificada, que en esta tesis será de 210 Kg/cm^2 .
- 2) Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- 3) Selección del slump (en pulgadas) o asentamiento
- 4) Selección del volumen unitario de agua de diseño y contenido de aire.
- 5) Selección de la relación agua cemento por resistencia y durabilidad.
En este caso será 0.56
- 6) Determinación del factor cemento.
- 7) Determinación del contenido del agregado grueso. En el caso de concretos con Ecogravilla, el contenido de este árido será en función

del porcentaje que se va ir proporcionando, al mismo tiempo que se va reduciendo la cantidad de piedra.

- 8) Determinación de la suma de los volúmenes absolutos.
- 9) Determinación del volumen absoluto de agregado fino.
- 10) Determinación del peso seco del agregado fino.
- 11) Determinación de los valores de diseño del cemento.
- 12) Corrección de los valores de diseño por humedad y absorción del agregado.
- 13) Determinación de la proporción en peso.

3.6.3.5. Ensayos que se realizarán al concreto en estado endurecido

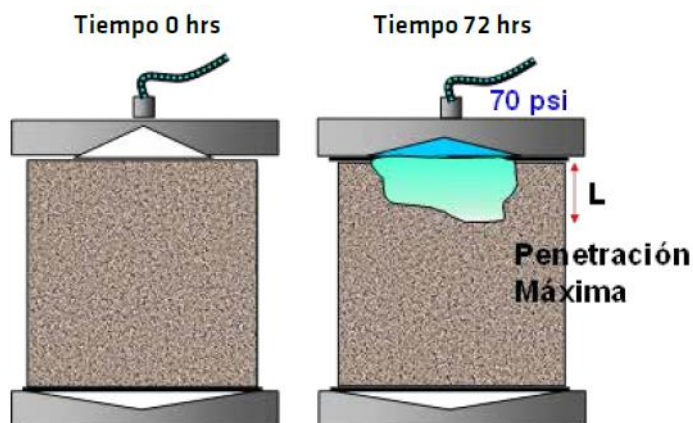
- Resistencia a la compresión del concreto **NTP 339.034 (2015)**

El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta.

- Permeabilidad (ensayo de penetración de agua): **UNE-EN 12390-8**

El método de ensayo permite determinar la penetración del agua sometida a presión en el concreto endurecido. Esto implica el exponer una probeta de concreto endurecida a una columna de presión de agua por una de sus caras por 3 días. Luego se falla lateralmente la probeta midiendo la mancha penetración de agua. Lo que se determina así, corresponde a la profundidad de penetración de agua que se identifica fácilmente a la vista.

Figura 11: Esquema de funcionamiento del ensayo de permeabilidad



Fuente: Concreto Impermeable, Hermida (2014)

Equipos que se emplearan en la investigación - Agregados

NTP 400.012, (2013): Ensayo de Granulometría, Tamaño Máximo Nominal y Módulo de Fineza

Balanzas: Las balanzas utilizadas en el ensayo de agregado fino, grueso y global deberán tener la siguiente exactitud y aproximación:

Para agregado fino, con aproximación de 0.1g y exacta a 0.1g o 0.1% de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

Para agregado grueso o agregado global, con aproximación y exacta a 0.5g o 0.1% de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.

Tamices: Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001. Las medidas de los tamices a utilizar para el agregado fino son las siguientes (N°4, N°8, N°40, N°100 y N°200), para el agregado grueso (1", ¾", ½", 3/8", ¼" y N°4).

Horno: Un horno de medidas apropiadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

NTP 400.017, (2011): Peso Unitario

Balanza: Una balanza con exactitud dentro el 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto del rango de uso, con graduación al menos de 0,05 kg. El rango de uso será considerado a ser extendido desde la masa del medidor vacío a la masa del medidor más su contenido hasta 1 920 kg/m³.

Varilla de apisonado: Una varilla lisa de acero, redondeada de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo un extremo o ambos extremos de forma redondeada tipo semiesférica, con 16 mm de diámetro.

Recipiente: Un recipiente cilíndrico de metal, preferiblemente provisto de asas. Será hermético a prueba de agua, con bordes superior e inferior firmes y parejos con precisión en sus dimensiones interiores y suficientemente rígidas para mantener su forma en condiciones severas de uso.

Pala o cucharón: Una pala o cucharón de un tamaño conveniente para llenar el recipiente con el agregado.

NTP 400.021, (2013): Peso Específico y Porcentaje de Absorción (agregado grueso)

Balanza: Un dispositivo para la determinación de la masa que es sensible, fácil de leer, y una precisión de 0,05 % de la carga de muestra en cualquier punto dentro de la gama de uso de este método de ensayo, o de 0,5 g, lo que sea mayor. La balanza deberá estar equipada con un aparato adecuado para suspender el recipiente de la muestra en el agua desde el centro de la plataforma o el plato de la balanza.

Recipiente para muestra: Una canasta de alambre de 3,35 mm (N° 6) o de malla fina o un cubo de aproximadamente el mismo ancho y altura, con una capacidad de 4 a 7 litros, agregado de tamaño máximo nominal o menor de 37,5 mm (1 ½ in.) y un recipiente más grande, según sea necesario, para ensayos de agregado de mayor tamaño máximo. El recipiente deberá estar construido, de modo que, evite la retención de aire cuando se sumerge en agua.

Tanque de agua: Un recipiente hermético, en el que se coloca el recipiente de la muestra mientras está suspendido debajo de la balanza.

Tamices: Un tamiz de 4.75 mm (N° 4) u otros tamaños según sea necesario, conforme la NTP 350.001.

Estufa: Una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

NTP 400.022, (2013): Peso Específico y Porcentaje de Absorción (agregado fino)

Balanza: Una balanza o báscula que tiene una capacidad de 1 kg o más, sensibles a 0,1 g o menos, y una precisión de 0,1 % de la carga de ensayo en cualquier punto dentro de la gama de uso de este método de ensayo. Dentro de un rango de 100 g de la carga de la prueba, la diferencia entre las lecturas deberán tener una precisión de 0,1 g.

Picnómetro (para usarse con el procedimiento gravimétrico): Un frasco u otro contenedor apropiado en el cual la muestra de

agregado fino puede ser rápidamente introducida y en el cual el contenido del volumen puede ser calibrado hasta $\pm 0,1 \text{ cm}^3$. El volumen del recipiente lleno hasta la marca será de al menos 50 % mayor que el espacio necesario para acomodar la muestra de ensayo. Un matraz aforado de 500 cm^3 de capacidad o un frasco de vidrio, equipado con una tapa de picnómetro es satisfactorio para una muestra de 500 g de la mayoría de los áridos finos.

Frasco (para su uso en determinación volumétrica): Un frasco de Le Chatelier, como se describe en la NTP 334.005, es apropiado para una muestra de aproximadamente 55 g.

El molde y barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad: El molde metálico deberá tener la forma de un tronco de cono con las dimensiones de la siguiente manera: 40 mm ± 3 mm de diámetro interior en la parte superior, 90 mm ± 3 mm de diámetro interior en la parte inferior y 75 mm ± 3 mm de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0,8 mm. La barra compactadora de metal tendrá una masa de 340 g ± 15 g y una cara plana circular de apisonamiento de 25 mm ± 3 mm de diámetro.

Estufa: una estufa de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C ± 5 °C.

NTP 339.185, (2013): Contenido de Humedad

Balanza: Con sensibilidad al 0.1% del peso de prueba en cualquier punto dentro del rango de uso. Dentro de cualquier intervalo igual al 10% de la capacidad de la balanza, la indicación del peso deberá tener una precisión dentro del 0.1 % del rango indicado.

Fuente de calor: Un horno ventilado capaz de mantener la temperatura alrededor de la muestra a 110°C ± 5 °C.

Recipiente para la muestra: Un envase que no sea afectado por el calor y con suficiente capacidad para contener la muestra sin peligro de derramarse. Tendrá la forma conveniente para que el espesor de la muestra no exceda un quinto de la menor dimensión lateral.

Equipos que se emplearán en la investigación – Concreto

Asentamiento del concreto **NTP 339.035 (2015)**

Moldes: El molde debe tener la forma de la superficie lateral de un tronco de cono, con un diámetro de 200 mm (8 pulgadas) en la base inferior, un diámetro superior de 100 mm (4 pulgadas) y una altura de 300 mm (12 pulgadas). La tolerancia de los diámetros y alturas individuales debe estar entre ± 3 mm de las dimensiones establecidas. La base superior e inferior del molde debe ser abiertas y paralelas entre sí formando ángulo recto con el eje del cono.

Barra compactadora: Una barra cilíndrica de acero liso, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, que tiene su extremo de compactación, o ambos, redondeado a una semiesfera con un diámetro de 16 mm.

Dispositivo de medida: Una regla, cinta métrica de metal o instrumento similar rígido o semirígido, cuya longitud de medición debe estar marcada en incrementos de 5 mm o menores. La longitud del instrumento debe ser por lo menos de 300 mm.

Cucharón: De tamaño apropiado y forma adecuada para obtener la cantidad suficiente y representativa de concreto del recipiente que contiene la muestra y colocarla sin derramar en el molde.

Resistencia a la compresión del concreto **NTP 339.034 (2015)**

Molde para Probetas.- Los moldes que se usaron para el moldeado de las probetas, son metálicos y se ajustan a través de dos seguros, los cuales no permiten que el concreto escape del molde. Las dimensiones de estas probetas serán: para las que serán sometidas al ensayo de resistencia a la compresión tienen 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, y para las que se les ensayará la permeabilidad tendrán dimensiones de 15 cm de diámetro y 15 cm de altura.

Máquina de ensayo: La máquina de ensayo será de capacidad conveniente suficiente y capaz de proveer una velocidad de carga, según la NTP 339.034 y la ASTM C39.

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

3.7.1. Métodos para el análisis de datos:

Los métodos usados para el procesamiento de datos son:

- Estadística descriptiva: porque se usó la medida de tendencia central como la media, es decir, el promedio aritmético de la distribución de los datos usados. Esto es importante porque luego se hará una comparación de estas para contrastar la hipótesis.
- Estadística inferencial: porque a partir de una toma de muestras, se pudo obtener conclusiones estadísticamente válidas y significativas de una población. Para ellos se usó las pruebas de Normalidad y de Hipótesis

3.7.2. Instrumentos para el análisis de datos:

Los instrumentos estadísticos utilizados son las hojas de cálculo en Microsoft Excel y el SPSS Vrs. 24.0. Este último se usó porque es el software estadístico más importante de su rama pues ofrece técnicas de recolección de datos y analítica predictiva para solucionar problemas de investigación. En este programa verificamos la normalidad de los datos a través de la prueba de Shapiro Wilk (por ser nuestra muestra menor a 30), luego si la normalidad de los datos es mayor a cinco centésimos, desarrollamos el contraste de hipótesis mediante la prueba de T de Student de comparación de medias que evaluó si dos muestras son estadísticamente diferentes y si un procedimiento tiene un efecto estadístico significativo.

3.7.3. Procedimiento de análisis de datos:

A continuación se describe el proceso de análisis de datos

Figura 12: Esquema para el análisis de datos



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Obtención de los Áridos

4.1.1. Áridos Naturales:

Los áridos naturales (piedra y arena) que se utilizaron para poder realizar nuestras mezclas de concreto (patrón y con Ecogravilla), se obtuvieron de la cantera “El Milagro”.

Esta cantera se ubica en el Kilómetro 586+600 de la panamericana Norte, al margen izquierdo. El acceso de ella es a través de una trocha carrozable que se encuentra en estado de conservación regular. La distancia desde el punto de la Panamericana Norte hasta la cantera es de 2.7 Km.

Esta cantera contiene depósitos aluviales, formados por una mezcla de gravas sub-redondeadas, cubiertas por arena de grano grueso y anguloso. Además contiene cantos rodados de TM de 8”. Se tiene una potencia total de casi 105 mil metros cúbicos, lo cual le permite ser explotada durante todo el año. Los materiales que ofrecen son para usarlo en Sub base granular, mezcla asfáltica en caliente, tratamiento superficial bicapa, piedra mediana y piedra grande.

Figura 13: Ubicación de la cantera El Milagro



Fuente: Google Maps © (2018)

4.1.2. Áridos siderúrgicos:

Los depósitos de Ecogravilla de escoria de acero se ubican dentro de la fábrica de la Corporación Aceros Arequipa, en el extremo oeste.

Esta planta está a 20 minutos de la plaza de armas de Pisco, en el kilómetro 234 de la carretera Panamericana Sur, Provincia de Pisco, Departamento de Ica.

La granulometría que podemos encontrar en esta planta, es desde 3" hasta 3/8". Los tamaños que seleccionamos para nuestro estudio son menores o iguales a 3/4, siendo en total la cantidad que nos donó la planta cerca de 30 Kg.

Figura 14: Ubicación de la planta de Aceros Arequipa ©



Fuente: Google Maps © (2018)

4.2. Ensayo de Agregados

4.2.1. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

De acuerdo a los lineamientos indicados en la norma NTP 339.185:2013 para obtener el porcentaje de humedad, se tienen los siguientes resultados:

- En el agregado grueso, se obtuvo 0.7% de contenido de humedad tomando solo 5 Kg de muestra. En la siguiente tabla, se describe los datos usados para su obtención.

Tabla 14: Humedad promedio del Agregado Grueso

Descripción	Valor
Peso del recipiente (gr)	320
Peso del recipiente + material humedo (gr)	5,320
Peso del recipiente + material seco (gr)	5,285
Peso del material humedo (gr)	5,000
Peso del material seco (gr)	4,965
Peso de agua contenida (gr)	35
Contenido de humedad (%)	0.7%

Fuente: Elaboración Propia

- En el agregado fino, se obtuvo 1.5% de contenido de humedad tomando 0.4 Kg de muestra. En la siguiente tabla, se describe los datos usados para su obtención.

Tabla 15: Humedad promedio del Agregado Fino

Descripción	Valor
Peso del recipiente (gr)	118
Peso del recipiente + material humedo (gr)	518
Peso del recipiente + material seco (gr)	512
Peso del material humedo (gr)	400
Peso del material seco (gr)	394
Peso de agua contenida (gr)	6
Contenido de humedad (%)	1.5%

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. AGREGADOS: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

De acuerdo a los lineamientos indicados en la norma NTP 400.012:2013, se analizó la distribución por tamaño de partículas de los agregados obteniendo lo siguiente:

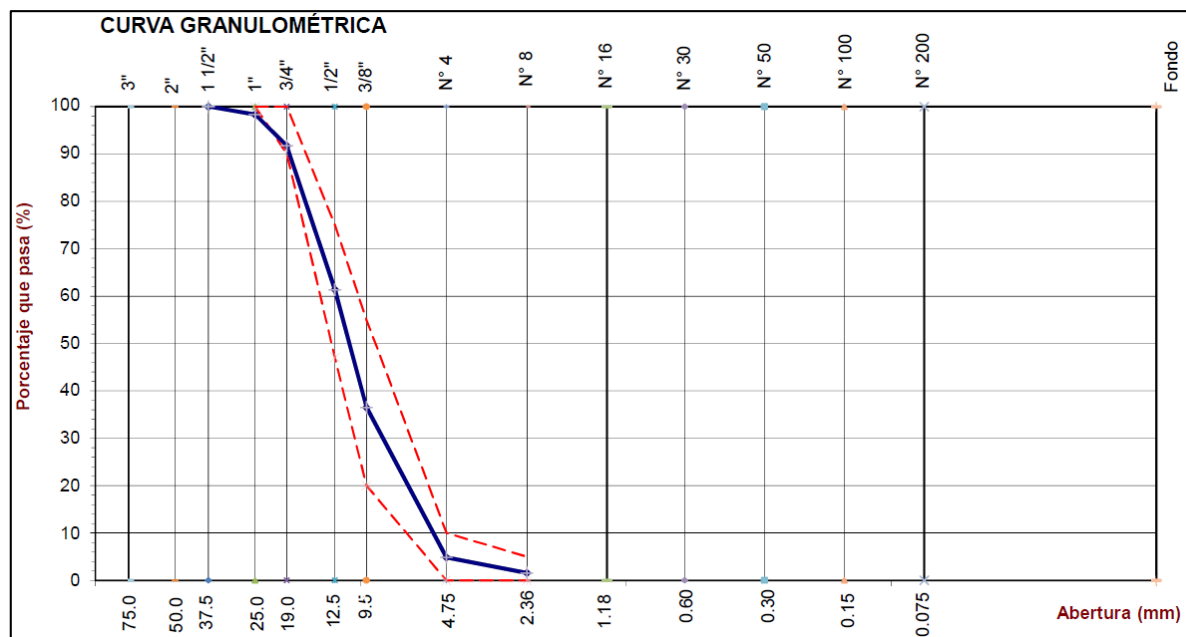
- En el agregado grueso, se verificó su Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 3/4" por el cual se consideró el Huso granulométrico 67 para verificar su calidad, cumpliendo con los límites de material pasante mencionados en la norma.

Tabla 16: Análisis granulométrico del agregado grueso

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum (%)	Pasante (%)	Límites HUSO 67		Datos de la muestra
						Mínimo	Máximo	
3"	75.000							Identificación : PIEDRA HUSO 67 Descripción : PIEDRA ZARANDEADA Procedencia : CANTERA EL MILAGRO F. Recepción : 18/09/2017
2"	50.000							
1 1/2"	37.500	0	0.0	0.0	100.0			
1"	25.000	175	1.6	1.6	98.4	100	100	
3/4"	19.000	706	6.6	8.3	91.7	90	100	
1/2"	12.500	3,240	30.4	38.7	61.3			Masa Inicial (gr) : 10,670 Masa final (gr) : 10,660 Diferencia (Max 0.3%) : 0.09 %
3/8"	9.500	2,649	24.8	63.5	36.5	20	55	
Nº 4	4.750	3,370	31.6	95.1	4.9	0	10	
Nº 8	2.360	351	3.3	98.4	1.6	0	5	Características Físicas Tamaño Máx. Nominal : 3/4" Material < Malla 200 : 0.4 % Contenido de Humedad : 0.7 % Modulo de Finura : 6.59
Nº 16	1.180		0.0	98.4				
Nº 30	0.600		0.0	98.4				
Nº 50	0.300		0.0	98.4				
Nº 100	0.150		0.0	98.4				
Nº 200	0.075		0.0	98.4				
Fondo	-	169	1.6	100.0				
		10,660	100.0					

Fuente: Elaboración propia

Figura 15: Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

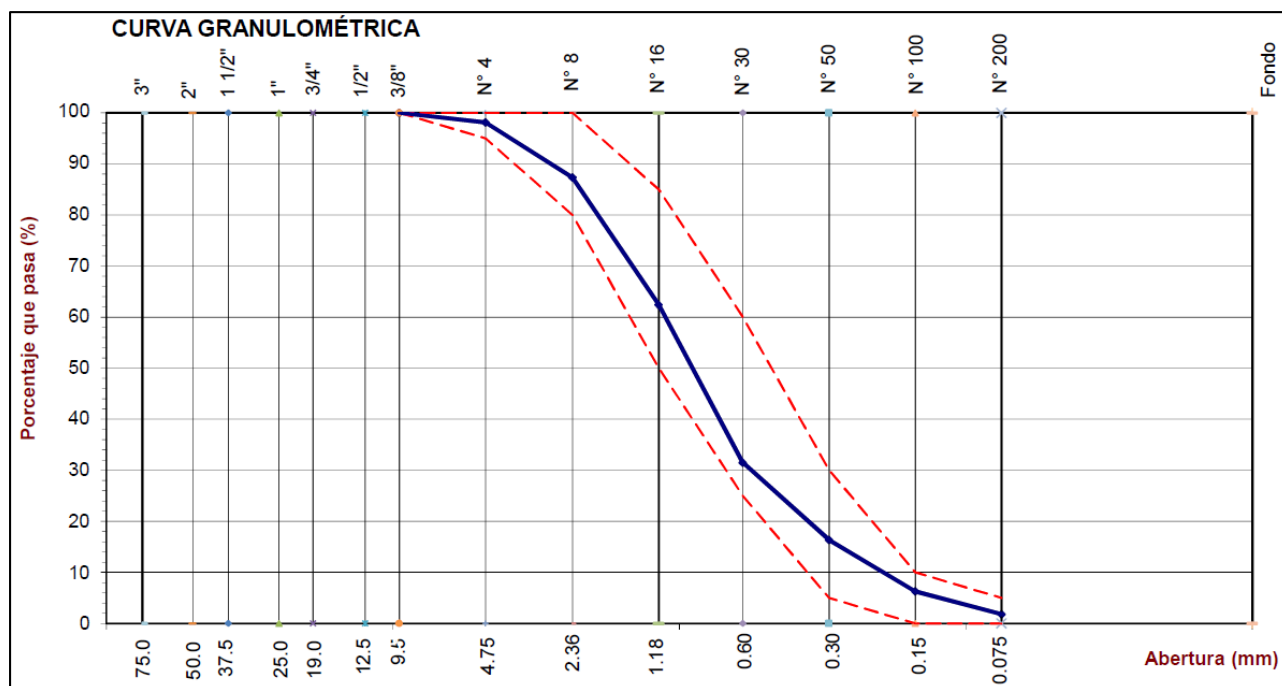
- En el agregado fino, se obtuvo un módulo de finura (MF) de 2.98 lo que equivale a que la mayoría de los granos de la arena son gruesos, cumpliendo con los límites del MF (no menor a 2.3 ni mayor a 3.1) y del material pasante por las mallas mencionadas en la NTP 400.037:2014.

Tabla 17: Análisis granulométrico del agregado fino

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum (%)	Pasante (%)	Limites		Datos de la muestra
						Mínimo	Máximo	
3"	75.000							Identificación : ARENA GRUESA
2"	50.000							Descripción : ARENA ZARANDEADA
1 1/2"	37.500							Procedencia : CANTERA EL MILAGRO
1"	25.000							F. Recepción : 18/09/2017
3/4"	19.000							
1/2"	12.500							
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100	Masa Inicial (gr) 1,600
Nº 4	4.750	30	1.9	1.9	98.1	95	100	Masa final (gr) 1,595
Nº 8	2.360	172	10.8	12.7	87.3	80	100	Diferencia (Max 0.3%) 0.3 %
Nº 16	1.180	398	25.0	37.6	62.4	50	85	Características Físicas
Nº 30	0.600	493	30.9	68.5	31.5	25	60	Tamaño Máx. Nominal
Nº 50	0.300	241	15.1	83.6	16.4	5	30	Material < Malla 200 5.2 %
Nº 100	0.150	161	10.1	93.7	6.3	0	10	Contenido de Humedad 1.5 %
Nº 200	0.075	71	4.5	98.2	1.8	0	5	Modulo de Finura 2.98
Fondo	-	29	1.8	100.0	0.0			
		1,595	100.0					

Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Curva granulométrica del agregado fino



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados.

En función de las indicaciones de la norma NTP 400.017:2011, se obtienen los datos como el peso unitario suelto seco (PUSS) y el peso unitario compactado seco (PUCS) para poder realizar el diseño de mezcla:

- En el agregado grueso, se obtuvo como promedio los valores de 1540 Kg/m³ para el PUSS y 1700 Kg/m³ para el PUCS.

Tabla 18: Resultados del PUSS y PUCS del agregado grueso.

Descripción	Test 1	Test 2	Promedio
Peso del recipiente + muestra suelta (kg)	14.185	14.238	
Peso del recipiente + muestra apisonada (kg)	15.314	15.347	
Peso del recipiente (kg)	3.436	3.436	
Peso de la muestra en estado suelto (kg)	10.749	10.802	
Peso de la muestra en estado apisonado (kg)	11.878	11.911	
Volumen del recipiente (m3)	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1,536	1,543	1,540
Peso Unitario Apisonado (kg/m3)	1,697	1,702	1,700

Fuente: Elaboración propia

- En el agregado fino, se obtuvo como promedio los valores de 1620 Kg/m³ para el PUSS y 1800 Kg/m³ para el PUCS.

Tabla 19: Resultados del PUSS y PUCS del agregado fino

Descripción	Test 1	Test 2	Promedio
Peso del recipiente + muestra suelta (kg)	14.735	14.814	
Peso del recipiente + muestra apisonada (kg)	16.052	15.989	
Peso del recipiente (kg)	3.436	3.436	
Peso de la muestra en estado suelto (kg)	11.299	11.378	
Peso de la muestra en estado apisonado (kg)	12.616	12.553	
Volumen del recipiente (m3)	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1,614	1,625	1,620
Peso Unitario Apisonado (kg/m3)	1,802	1,793	1,800

Fuente: Elaboración propia

4.2.4. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso

En función de las indicaciones de la norma NTP 400.021:2013, se obtienen los datos de peso específico (en g/cm³) y absorción (en %) para poder realizar el diseño de mezcla:

- En el agregado grueso, se obtuvo como promedio los valores de 2.70 g/cm³ para el peso específico y 1.0% para absorción.

Tabla 20: Resultados del peso específico y absorción del agregado grueso

Descripción	Test 1	Test 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire (gr)	4925	4898	
Peso de la muestra SSS al aire (gr)	4980	4940	
Peso aparente de la muestra saturada en agua (gr)	3160	3120	
Peso Especifico Base Seca (gr/cm³)	2.71	2.69	2.70
Peso Especifico Base SSS (gr/cm³)	2.74	2.71	2.73
Absorcion (%)	1.1%	0.9%	1.0%

Fuente: Elaboración propia

4.2.5. AGREGADOS: Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino

En función de las indicaciones de la norma NTP 400.022:2013, se obtienen los datos de peso específico (en g/cm³) y absorción (en %) para poder realizar el diseño de mezcla:

- En el agregado fino, se obtuvo como promedio los valores de 2.63 g/cm³ para el peso específico y 1.0% para absorción.

Tabla 21: Resultados del peso específico y absorción del agregado fino

Descripción	Test 1	Test 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno (gr)	498	494	
Peso del picnometro llenado con agua (gr)*	682	684	
Peso del picnometro llenado con muestra y agua (gr)*	997	994	
Peso de la muestra SSS (gr)	502	500	
Peso Especifico Base Seca (gr/cm³)	2.66	2.60	2.63
Peso Especifico Base SSS (gr/cm³)	2.68	2.63	2.66
Absorcion (%)	0.8%	1.2%	1.0%

(*) Llenado hasta la marca de calibración.

Fuente: Elaboración propia

4.3. Caracterización de Escoria

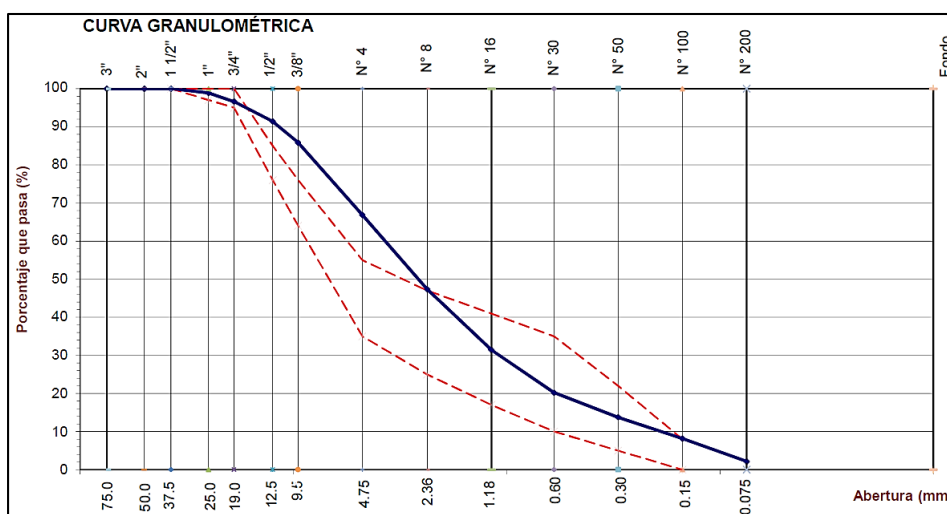
La Ecogravilla se usó en su estado natural, es decir, sin cribar ni clasificar las partículas teniendo estas unas dimensiones de 7.5 μ m a 25 mm de tamaño, siendo estos adecuados para ser usados en el concreto y reemplazar al agregado grueso, como lo recomiendan de 3/4" al tamiz N° 8 según Amaral (1999) o menores a 50 mm como indica el Centro de Estudios y Experimentación de obras públicas (2011). En la siguiente tabla, se muestra el ensayo granulométrico de la Ecogravilla de escoria obteniendo un TMN de 3/4" (que es el mismo resultado obtenido por el agregado grueso), así como el resultado del Módulo de finura de 4.30 expresando lo grueso que son sus partículas y considerarlo como agregado grueso. Los límites usados para su evaluación son los del agregado global (NTP 400.037:2014 - Anexo A)

Tabla 22: Análisis granulométrico de la Ecogravilla de escoria de acero

Tamiz	Abert. (mm)	Peso Retenido (gr)	Retenido (%)	Retenido Acum (%)	Pasante (%)	Límites A. Global		Datos de la muestra
						Mínimo	Máximo	
3"	75.000	0	0.0	0.0	100.0			Identificación : ECOGRAVILLA Descripción : ECOGRAVILLA Procedencia : ACEROS AREQUIPA - PISCO F. Recepción : 09/10/2017
2"	50.000	0	0.0	0.0	100.0			
1 1/2"	37.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100	
1"	25.000	174	1.1	1.1	98.9			
3/4"	19.000	348	2.3	3.4	96.6	95	100	
1/2"	12.500	796	5.2	8.6	91.4			Masa Inicial (gr) 15,320 Masa final (gr) 15,302 Diferencia (Max 0.3%) 0.12 %
3/8"	9.500	847	5.5	14.1	85.9			
N° 4	4.750	2,902	19.0	33.1	66.9	35	55	
N° 8	2.360	2,986	19.5	52.6	47.4			Características Físicas
N° 16	1.180	2,439	15.9	68.6	31.4			
N° 30	0.600	1,717	11.2	79.8	20.2	10	35	Tamaño Máx. Nominal 3/4" Material < Malla 200 % Contenido de Humedad 1.3 % Módulo de Finura 4.30
N° 50	0.300	987	6.5	86.2	13.8			
N° 100	0.150	861	5.6	91.9	8.1	0	8	
N° 200	0.075	915	6.0	97.8	2.2			
Fondo	-	330	2.2	100.0	0.0			
		15,302	100.0					

Fuente: Elaboración propia

Figura 17: Curva granulométrica de la Ecogravilla de escoria de acero



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: Humedad promedio de la Ecogravilla

Descripción	Valor
Peso del recipiente (gr)	315
Peso del recipiente + material humedo (gr)	5,315
Peso del recipiente + material seco (gr)	5,250
Peso del material humedo (gr)	5,000
Peso del material seco (gr)	4,935
Peso de agua contenida (gr)	65
Contenido de humedad (%)	1.3%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24: Resultados del peso específico y absorción de la Ecogravilla

Descripción	1	2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire (gr)	4824	4832	
Peso de la muestra SSS al aire (gr)	5050	5050	
Peso aparente de la muestra saturada en agua (gr)	3485	3460	
Peso Específico Base Seca (gr/cm³)	3.08	3.04	3.06
Peso Específico Base SSS (gr/cm ³)	3.23	3.18	3.21
Absorción (%)	4.7%	4.5%	4.6%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25: Resultados del PUSS y PUCS de la Ecogravilla

Descripción	1	2	Promedio
Peso del recipiente + muestra suelta (kg)	16.168	15.879	
Peso del recipiente + muestra apisonada (kg)	18.007	17.933	
Peso del recipiente (kg)	3.436	3.436	
Peso de la muestra en estado suelto (kg)	12.732	12.443	
Peso de la muestra en estado apisonado (kg)	14.571	14.497	
Volumen del recipiente (m ³)	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1,819	1,778	1,800
Peso Unitario Apisonado (kg/m³)	2,082	2,071	2,080

Fuente: Elaboración Propia

4.4. Diseño de Mezcla

El concreto se diseñará tomando en cuenta su propia naturaleza (como el peso, armado, etc), la resistencia de diseño, consistencia o slump deseado y su permeabilidad.

Posteriormente, tomando como base el concreto patrón (sin reemplazo de los agregados), se realiza el diseño de mezclas del concreto sustituyendo proporcionalmente el agregado grueso por la Ecogravilla de escoria de acero en porcentajes de 20%, 35%, 50% y 65%.

4.4.1. Materiales:

De acuerdo a los requisitos dados por la Norma Técnica Peruana, se detallarán cada uno de los materiales usados para elaborar las probetas cilíndricas de concreto convencional y concreto con Ecogravilla de escoria de acero. Una vez elaboradas, se les evaluará la resistencia a la compresión y permeabilidad por método de penetración del agua.

4.4.1.1. Cemento:

Se están usando dos tipos de cemento para la elaboración de las probetas: El Tipo ICO y el Tipo V; debido a que son los cementos que se usan en los casos más recurrentes de nuestro país. El Tipo ICO, usado para construcciones en general, contiene adiciones de hasta 30% de filler calizo especialmente seleccionadas para brindar una buena resistencia a la compresión, mejor trabajabilidad y moderado calor de hidratación.

Figura 18: Propiedades físicas del Cemento Tipo ICO Extraforte

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	6	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.065	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	5020	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	3.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	3.00	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	24.1 (245)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	28.3 (288)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm ²)	32.4 (330)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

Fuente: Certificado de Calidad de Cementos Pacasmayo ® (2017)

El cemento tipo V, es un material apropiado para lugares donde el suelo y el agua subterránea presenta una alta concentración de sulfatos. El desarrollo de su resistencia es más lento que un cemento para construcciones en general (Tipo I). Según Kosmatka et al (2004), el uso de bajo contenido de aluminato tricíclico, baja relación agua-materiales cementantes y baja permeabilidad lo hacen fundamental para el buen desempeño de cualquier estructura expuesto a los sulfatos.

Figura 19: Propiedades físicas del Cemento tipo V.

PROPIEDADES FISICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	10	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.05	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.11	NO ESPECIFICA
Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	19.6 (200)	Mínimo 8.0 (Mínimo 82)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	27.3 (278)	Mínimo 15.0 (Mínimo 153)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm ²)	34.0 (347)	Mínimo 21.0 (Mínimo 214)

Fuente: Certificado de Calidad de Cementos Pacasmayo ® (2017)

4.4.1.2. Agregados:

Los agregados fino y grueso a usar en la elaboración de las probetas, serán los mismos que se dispondrán en la elaboración tanto de las mezclas con concreto patrón como el de las de concreto con áridos de escoria de acero. Todos cumpliendo con los requisitos de la Norma Técnica Peruana.

a) Agregado Fino:

- El material presenta un Módulo de finura de 2.98, teniendo su granulometría dentro de los porcentajes permitidos por la tabla 01 de la norma NTP 400.037:2014
- Presenta un contenido de humedad de 1.5%
- El Peso unitario suelto seco del material es 1620 Kg/m³ y el peso unitario compactado de 1800 Kg/m³
- Un Peso Específico de 2.63 g/cm³ y un grado de absorción de 1.0%

b) Agregado Grueso:

- El material presenta un Tamaño Máximo Nominal de 3/4", teniendo su granulometría (Huso 67) dentro de los porcentajes permitidos por la tabla 04 de la norma NTP 400.037:2014

- Presenta un contenido humedad de 0.7%
- El Peso unitario suelto seco del material es 1540 Kg/m³ y el peso unitario compactado de 1700 Kg/m³
- Un Peso Específico de 2.70 g/cm³ y un grado de absorción de 1.0%

4.4.1.3. Agua:

El agua para la elaboración de los diseños de mezcla es potable, libre de residuos orgánicos. Esto no constituyó un problema debido a que el agua usada cumple con los parámetros mínimo permitidos por las normativas.

En la tabla a continuación, se presentara el estudio elaborado por Durand (2017) que realizo al agua potable que usamos en la ciudad de Trujillo.

Tabla 26: Requisitos químicos del agua para la elaboración del concreto

Requisitos Químicos			
Ensayo	Norma	Resultado	Rango
Ph	ASTM C-1602	6,0	5,0 – 8,0
Sal (p.p.m.)	NTP 400.042	800	< 1000
Conductividad (uS/cm)	NTP 400.043	1421	< 1500
Sólidos en suspensión (p.p.m.)	NTP 400.044	961	< 5000

Fuente: Durand (2017). UPN

4.4.2. Diseño de Mezcla de Concreto (Dosificaciones):

A continuación se mencionaran todos los datos necesarios para poder desarrollar el diseño de mezcla. Posteriormente se escoge la resistencia de diseño, que será igual para ambas tandas de concreto (convencional y con Ecogravilla de escoria de acero).

Siendo el concreto convencional tomado como patrón (sin alteración en sus componentes), se realiza los diseños de mezclas, reemplazando paulatinamente cada uno de los porcentajes de sustitución del agregado grueso por Ecogravilla que son del 20%, 35%, 50% y 65%; tomando en cuenta las propiedades físicas de este obtenidas en laboratorio.

4.4.2.1. Datos Requeridos para el diseño:

Los datos requeridos para los diseños de mezclas de las dos tandas ya descritas, son los siguientes:

Agregado Fino:

Tabla 27: Propiedades físicas del Agregado fino

Propiedades	Valores
Peso Especifico	2630 Kg/m ³
Peso Unitario Seco Compactado	1800 Kg/m ³
Peso Unitario Seco Suelto	1620 Kg/m ³
Contenido de Humedad	1.5%
Absorción	1.0%

Fuente: Elaboración Propia

Nota: El contenido de humedad se calculó al momento de realizar el diseño de mezcla

Agregado Grueso:

Tabla 28: Propiedades físicas del Agregado grueso

Propiedades	Valores
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Peso Especifico	2700 Kg/m ³
Peso Unitario Seco Compactado	1700 Kg/m ³
Peso Unitario Seco Suelto	1540 Kg/m ³
Contenido de Humedad	0.7%
Absorción	1.0%

Fuente: Elaboración Propia

Nota: El contenido de humedad se calculó al momento de realizar el diseño de mezcla

Ecogravilla de escoria de acero:

Tabla 29: Propiedades físicas de la Ecogravilla de escoria de acero

Propiedades	Valores
Tamaño Máximo Nominal	3/4"
Peso Específico	3060 Kg/m ³
Peso Unitario Seco Compactado	2080 Kg/m ³
Peso Unitario Seco Suelto	1800 Kg/m ³
Contenido de Humedad	1.3%
Absorción	4.6%

Fuente: Elaboración Propia

Nota: El contenido de humedad se calculó al momento de realizar el diseño de mezcla

4.4.2.2. Diseño de Mezcla de Concreto Patrón:

Este concreto se elaboró de acuerdo al método del comité ACI 211, el cual nos resulta las siguientes dosificaciones indicadas en la tabla 30 y 31 sin reemplazar la Ecogravilla de escoria de acero, tanto para los cementos Tipo ICO y V. Las consideraciones tomadas son en función de un TMN del agregado grueso de 3/4", una relación agua/cemento (a/c) de 0.56, tener un slump de 6"-7" y una resistencia de diseño de 210 Kg/cm².

Tabla 30: Dosificación para elaboración del concreto Patrón con Cemento Tipo ICO

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1287	386
Agua	216	0.2160	216
Arena	674	0.2560	685
Piedra	1024	0.3793	1032
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2300	1.0000	2319

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31: Dosificación para elaboración del concreto Patrón con Cemento tipo V

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1242	386
Agua	216	0.2160	216
Arena	686	0.2605	697
Piedra	1024	0.3793	1032
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2312	1.0000	2331

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2.3. Diseño de Mezcla de concreto con 80% AG y 20% Ecogravilla:

Este concreto se elaboró de acuerdo al método del comité ACI 211 el cual nos resulta las siguientes dosificaciones indicadas en la tabla 32 y 33 reemplazando la Ecogravilla de escoria de acero por Agregado grueso en 20%, tanto para cemento Tipo ICO y V. Las consideraciones tomadas son en función de un TMN del agregado grueso y Ecogravilla e de 3/4", una relación agua/cemento (a/c) de 0.56, tener un slump de 6"-7" y una resistencia de diseño de 210 Kg/cm².

Tabla 32: Dosificación del concreto con 80% AG y 20% de Ecogravilla - Cemento Tipo ICO

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1287	386
Agua	216	0.2160	222
Arena	697	0.2648	708
Ecogravilla	204	0.0667	207
Piedra	820	0.3038	826
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2323	1.0000	2349

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33: Dosificación del concreto con 80% AG y 20% de Ecogravilla - Cemento tipo V

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1242	386
Agua	216	0.2160	222
Arena	709	0.2693	720
Ecogravilla	204	0.0667	207
Piedra	820	0.3038	826
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2335	1.0000	2361

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2.4. Diseño de Mezcla de concreto con 65% AG y 35% Ecogravilla:

Dicho concreto se elaboró de acuerdo al método del comité ACI 211 el cual nos resulta las siguientes dosificaciones indicadas en la tabla 34 y 35 reemplazando la Ecogravilla de escoria de acero por Agregado grueso en 35%, tanto para cemento Tipo ICO y V. Las consideraciones tomadas son en función de un TMN del agregado grueso y Ecogravilla e de 3/4", una relación agua/cemento (a/c) de 0.56, tener un slump de 6"-7" y una resistencia de diseño de 210 Kg/cm².

Tabla 34: Dosificación del concreto con 65% AG y 35% de Ecogravilla - Cemento Tipo ICO

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1287	386
Agua	216	0.2160	227
Arena	715	0.2716	726
Ecogravilla	358	0.1170	363
Piedra	666	0.2467	671
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2341	1.0000	2373

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35: Dosificación del concreto con 65% AG y 35% de Ecogravilla - Cemento Tipo V

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1242	386
Agua	216	0.2160	227
Arena	727	0.2761	738
Ecogravilla	358	0.1170	363
Piedra	666	0.2467	671
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2353	1.0000	2385

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2.5. Diseño de Mezcla de concreto con 50% AG y 50% Ecogravilla:

Dicho concreto se elaboró de acuerdo al método del comité ACI 211 el cual nos resulta las siguientes dosificaciones indicadas en la tabla 36, y 37 reemplazando la Ecogravilla de escoria de acero por Agregado grueso en 50%, tanto para cemento Tipo ICO y V. Las consideraciones tomadas son en función de un TMN del agregado grueso y Ecogravilla e de 3/4", una relación agua/cemento (a/c) de 0.56, tener un slump de 6"-7" y una resistencia de diseño de 210 Kg/cm².

Tabla 36: Dosificación del concreto con 50% AG y 50% de Ecogravilla - Cemento Tipo ICO

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1287	386
Agua	216	0.2160	231
Arena	732	0.2782	743
Ecogravilla	512	0.1674	519
Piedra	512	0.1897	516
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2358	1.0000	2395

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37: Dosificación del concreto con 50% AG y 50% de Ecogravilla - Cemento tipo V

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1242	386
Agua	216	0.2160	231
Arena	744	0.2827	756
Ecogravilla	512	0.1674	519
Piedra	512	0.1897	516
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2370	1.0000	2408

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2.6. Diseño de Mezcla de concreto con 35% AG y 65% Ecogravilla:

Dicho concreto se elaboró de acuerdo al método del comité ACI 211 el cual nos resulta las siguientes dosificaciones indicadas en la tabla 38 y 39 reemplazando la Ecogravilla de escoria de acero por Agregado grueso en 65%, tanto para cemento Tipo ICO y V. Las consideraciones tomadas son en función de un TMN del agregado grueso y Ecogravilla e de 3/4", una relación agua/cemento (a/c) de 0.56, tener un slump de 6"-7" y una resistencia de diseño de 210 Kg/cm².

Tabla 38: Dosificación del concreto con 35% AG y 65% de Ecogravilla - Cemento Tipo ICO

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1287	386
Agua	216	0.2160	236
Arena	750	0.2849	762
Ecogravilla	665	0.2174	674
Piedra	359	0.133	362
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2376	1.0000	2420

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39: Dosificación del concreto con 35% AG y 65% de Ecogravilla - Cemento tipo V

MATERIALES	PESO SECO (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)	PESO HÚMEDO (kg/m ³)
Cemento	386	0.1242	386
Agua	216	0.2160	236
Arena	762	0.2894	774
Ecogravilla	665	0.2174	674
Piedra	359	0.133	362
Aire	0.02	0.0200	0.02
Total	2388	1.0000	2432

Fuente: Elaboración Propia

4.5. Elaboración de Probetas

Se elaboraron un total de 110 probetas cilíndricas, de las cuales 90 fueron de 10x20 cm y 20 de 15x15 cm. Estas dimensiones se basan en la norma NTP 339.034:2015.

El procedimiento utilizado para la elaboración de las probetas fue el siguiente: Verte los materiales necesarios al trompo para su mezclado, luego de esto se procede a realizar el vaciado en 3 capas a las probetas cilíndricas, en cada capa se dio 25 golpes con una varilla para que así el concreto fresco se acomode y evite la formación de grietas.

La elaboración de las mezclas, que están de acuerdo a nuestros diseños, se rige bajo la norma ACI 211. Después de elaboradas las probetas, se desencofran en 24 horas y luego se colocaron a curar en una piscina del laboratorio a una temperatura de ambiente. Luego, retiramos 90 probetas en los días 7, 21 y 28 días para ensayarlos a compresión y el saldo las retiramos después de 28 días para realizar el ensayo de penetración de agua para evaluar su permeabilidad.

A continuación se presentan las siguientes tablas con las fechas de elaboración de las probetas curadas, en función de sus edades de curado:

Tabla 40: Fechas de elaboración del concreto patrón con cemento Tipo ICO

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMBRE DE PROBETA	CPICO-01	CPICO-02	CPICO-03	CPICO-04	CPICO-05	CPICO-06	CPICO-07 CPICO-08 CPICO-09	M-1	M-2
ELABORACIÓN	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	02/12/2017	02/12/2017
DESENCOFRADO	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	06/11/2017	06/11/2017	06/11/2017	13/11/2017	-	-
ENSAYO DE PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	20/02/2018	20/02/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41: Fechas de elaboración del concreto con 20% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMBRE DE PROBETA	ICOE20-01	ICOE20-02	ICOE20-03	ICOE20-04	ICOE20-05	ICOE20-06	ICOE20-07 ICOE20-08 ICOE20-09	M-3	M-4
ELABORACIÓN	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
DESENCOFRADO	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	04/12/2017	04/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	28/10/2017	28/10/2017	28/10/2017	11/11/2017	11/11/2017	11/11/2017	18/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	20/02/2018	20/02/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42: Fechas de elaboración del concreto con 35% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMENCLATURA	ICOE35-01	ICOE35-02	ICOE35-03	ICOE35-04	ICOE35-05	ICOE35-06	ICOE35-07 ICOE35-08 ICOE35-09	M-5	M-6
ELABORACIÓN	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
DESENCOFRADO	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	04/12/2017	04/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	28/10/2017	28/10/2017	28/10/2017	11/11/2017	11/11/2017	11/11/2017	18/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	20/02/2018	20/02/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 43: Fechas de elaboración del concreto con 50% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMENCLATURA	ICOE50-01	ICOE50-02	ICOE50-03	ICOE50-04	ICOE50-05	ICOE50-06	ICOE50-07 ICOE50-08 ICOE50-09	M-7	M-8
ELABORACIÓN	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	21/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
DESENCOFRADO	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	22/10/2017	04/12/2017	04/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	28/10/2017	28/10/2017	28/10/2017	11/11/2017	11/11/2017	11/11/2017	18/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	26/02/2018	26/02/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44: Fechas de elaboración del concreto con 65% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMENCLATURA	ICOE65-01	ICOE65-02	ICOE65-03	ICOE65-04	ICOE65-05	ICOE65-06	ICOE65-07 ICOE65-08 ICOE65-09	M-9	M-10
ELABORACIÓN	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
DESENCOFRADO	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	04/12/2017	04/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	30/10/2017	30/10/2017	30/10/2017	13/11/2017	13/11/2017	13/11/2017	20/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	26/02/2018	26/02/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45: Fechas de la elaboración del concreto patrón con cemento tipo V

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMENCLATURA	CPV-01	CPV-02	CPV-03	CPV-04	CPV-05	CPV-06	CPV-07 CPV-08 CPV-09	M-1	M-2
ELABORACIÓN	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	16/10/2017	02/12/2017	02/12/2017
DESENCOFRADO	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	17/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	06/11/2017	06/11/2017	06/11/2017	13/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	26/02/2018	26/02/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 46: Fechas de elaboración del concreto con 20% de Ecogravilla y cemento tipo V

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMENCLATURA	VE20-01	VE20-02	VE20-03	VE20-04	VE20-05	VE20-06	VE20-07 VE20-08 VE20-09	M-3	M-4
ELABORACIÓN	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	02/12/2017	02/12/2017
DESENCOFRADO	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	30/10/2017	30/10/2017	30/10/2017	13/11/2017	13/11/2017	13/11/2017	20/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	02/03/2018	02/03/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47: Fechas de elaboración del concreto con 35% de Ecogravilla y cemento tipo V

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMENCLATURA	VE35-01	VE35-02	VE35-03	VE35-04	VE35-05	VE35-06	VE35-07 VE35-08 VE35-09	M-5	M-6
ELABORACIÓN	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	02/12/2017	02/12/2017
DESENCOFRADO	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	30/10/2017	30/10/2017	30/10/2017	13/11/2017	13/11/2017	13/11/2017	20/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	02/03/2018	02/03/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 48: Fechas de elaboración del concreto con 50% de Ecogravilla y cemento tipo V

DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMENCLATURA	VE50-01	VE50-02	VE50-03	VE50-04	VE50-05	VE50-06	VE50-07 VE50-08 VE50-09	M-7	M-8
ELABORACIÓN	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	02/12/2017	02/12/2017
DESENCOFRADO	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	30/10/2017	30/10/2017	30/10/2017	13/11/2017	13/11/2017	13/11/2017	20/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	02/03/2018	02/03/2018

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 49: Fechas de elaboración del concreto con 65% de Ecogravilla y cemento Tipo ICO

CONCRETO CON 65% DE ESCORIA DE ECOGRAVILLA - CEMENTO TIPO V									
DÍAS DE CURADO	7 DÍAS			21 DÍAS			28 DÍAS		
NOMENCLATURA	VE65-01	VE65-02	VE65-03	VE65-04	VE65-05	VE65-06	VE65-07 VE65-08 VE65-09	M-9	M-10
ELABORACIÓN	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	23/10/2017	02/12/2017	02/12/2017
DESENCOFRADO	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	24/10/2017	03/12/2017	03/12/2017
ENSAYO A LA COMPRESIÓN	30/10/2017	30/10/2017	30/10/2017	13/11/2017	13/11/2017	13/11/2017	20/11/2017	-	-
ENSAYO A LA PERMEABILIDAD	-	-	-	-	-	-	-	06/03/2018	06/03/2018

Fuente: Elaboración Propia

4.6. Ficha Técnica de los Concretos en estado fresco

En la siguiente tabla, se muestra los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades del concreto en estado fresco de cada diseño de mezcla elaborado: Temperatura (1), asentamiento o slump (2), contenido de aire (3) y peso unitario (4).

Tabla 50: Resultados obtenidos de los ensayos hechos al concreto fresco

Código Muestra	Fecha Muestreo	Hora Muestreo	Temp ¹ (°C)	Slump ² (pulg)	Aire ³ (%)	PUC ⁴ (kg/m ³)
PATRON - ICo	16/10/17	10:14	21.5	6.25	1.6	2358
PATRON - V	16/10/17	11:10	22.5	6.25	1.3	2372
ICo + 20% ECOGRAVILLA	21/10/17	9:27	21.0	3.50	1.6	2386
ICo + 35% ECOGRAVILLA	21/10/17	10:49	22.5	3.00	2.0	2381
ICo + 50% ECOGRAVILLA	21/10/17	12:00	26.0	3.00	2.2	2402
ICo + 65% ECOGRAVILLA	23/10/17	9:55	20.5	2.00	2.8	2398
V + 20% ECOGRAVILLA	23/10/17	11:00	21.0	6.00	1.7	2395
V + 35% ECOGRAVILLA	23/10/17	12:05	23.0	5.50	2.2	2392
V + 50% ECOGRAVILLA	23/10/17	15:17	24.0	4.75	2.5	2418
V + 65% ECOGRAVILLA	23/10/17	16:22	22.5	2.50	2.8	2398

Fuente: Elaboración Propia

4.7. Ensayo de Resistencia al esfuerzo de Compresión

Este ensayo se realizó sobre probetas cilíndricas de $\varnothing=10$ cm y $h=20$ cm. Los procedimientos se siguieron de acuerdo al punto 3.6.3.5. A continuación se muestran los resultados promedios por tipo de cemento elaborado:

Tabla 51: Resultados de la resistencia a la compresión para el cemento Tipo ICO.

%Ecogravilla x Piedra	Tiempo de Curado (días)	Resistencia a la Compresión Prom. (Kg/cm ²)
0%	7	143
	21	175
	28	202
20%	7	156
	21	186
	28	210
35%	7	164
	21	204
	28	223
50%	7	165
	21	198
	28	226
65%	7	149
	21	183
	28	195

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 52: Resultados de la resistencia a la compresión para el cemento Tipo V.

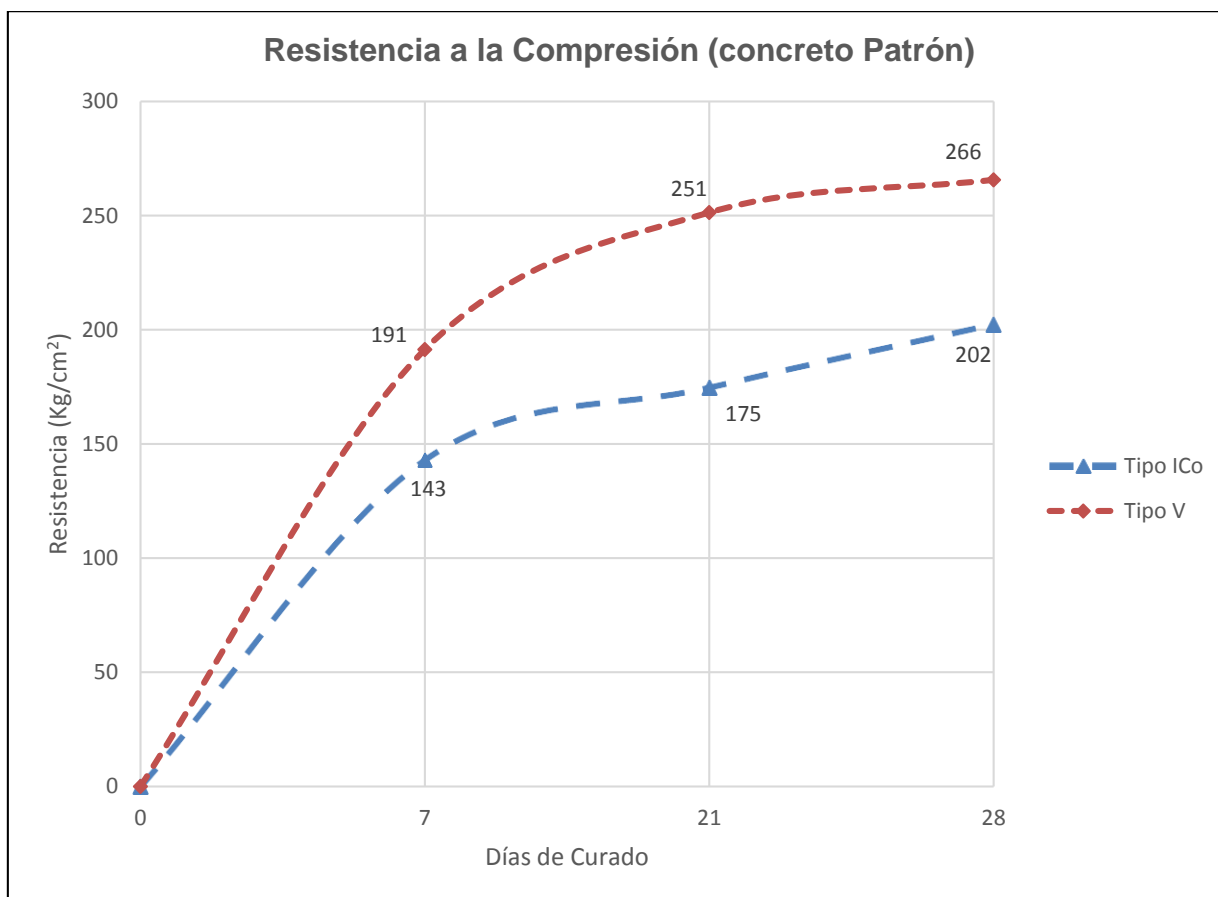
%Ecogravilla x Piedra	Tiempo de Curado (días)	Resistencia a la Compresión Prom. (Kg/cm ²)
0%	7	191
	21	251
	28	266
20%	7	206
	21	264
	28	277
35%	7	234
	21	295
	28	304
50%	7	255
	21	324
	28	334
65%	7	178
	21	242
	28	259

Fuente: Elaboración Propia

4.7.1. Resistencia al esfuerzo de Compresión del Concreto Patrón:

La siguiente figura, se muestra la evolución de las resistencias de los concretos por cada tipo de cemento usado en la investigación. Cabe recalcar que la mezcla no ha sido alterada por la Ecogravilla de escoria de acero. Es notorio también, que la resistencia de los concretos con tipo V está por encima del valor diseño (210 Kg/cm²) y también de los concretos con Tipo ICo.

Figura 20: Resistencia a la compresión de las muestras de concreto patrón

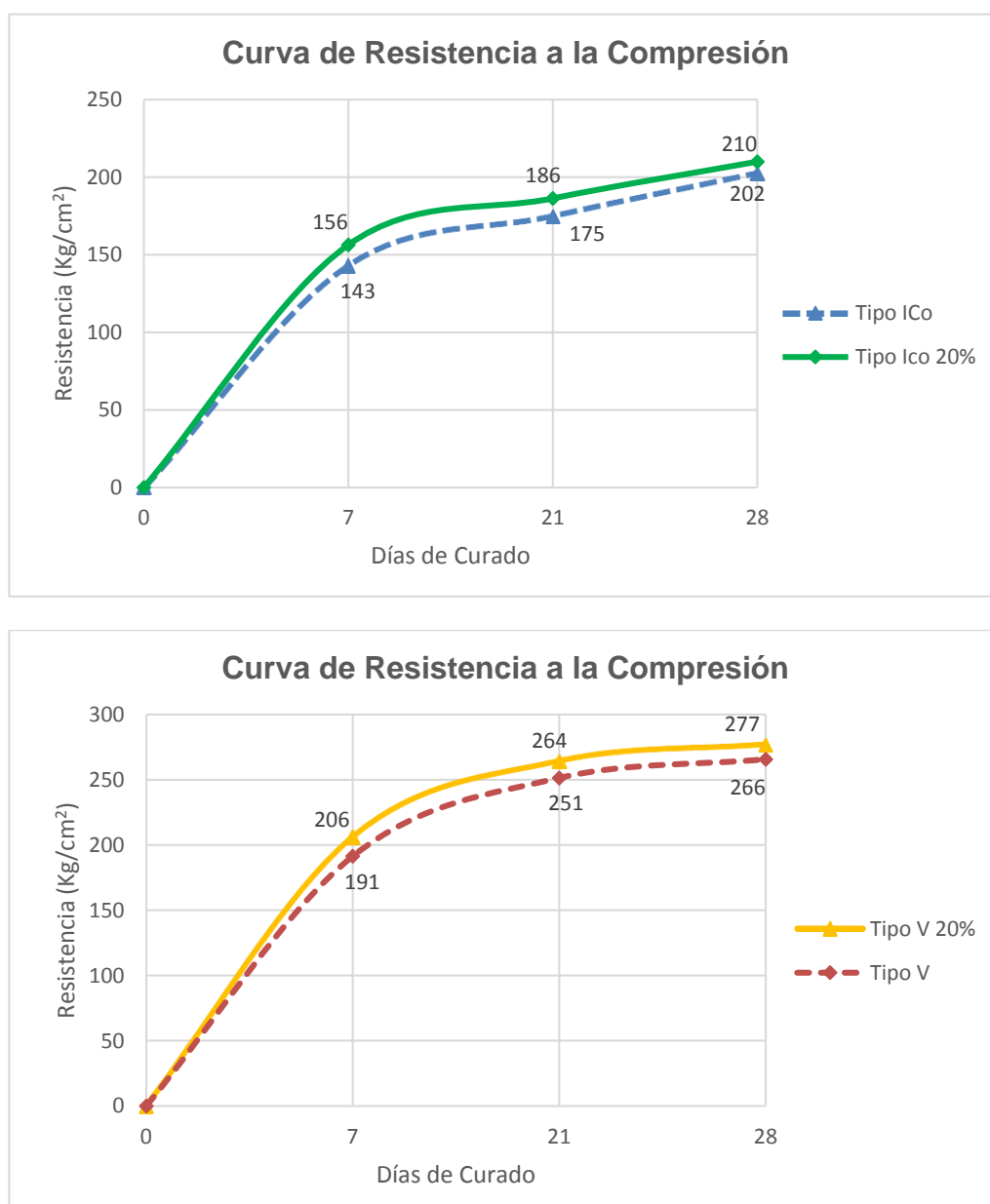


Fuente: Elaboración Propia

4.7.2. Resistencia al esfuerzo de Compresión de Concreto con 20% de Ecogravilla:

La siguiente figura, se muestra la evolución de las resistencias de los concretos por cada tipo de cemento usado en la investigación. Esta mezcla ha sido alterada en sus agregados, usando 20% de Ecogravilla y 80% de piedra. Es notorio también, que la resistencia de los concretos con tipo V está por encima del valor diseño (210 Kg/cm²) y también de los concretos con Tipo ICO.

Figura 21: Resistencia a la compresión del concreto con cemento tipo ICO (superior) y tipo V (inferior) usando 20% de Ecogravilla

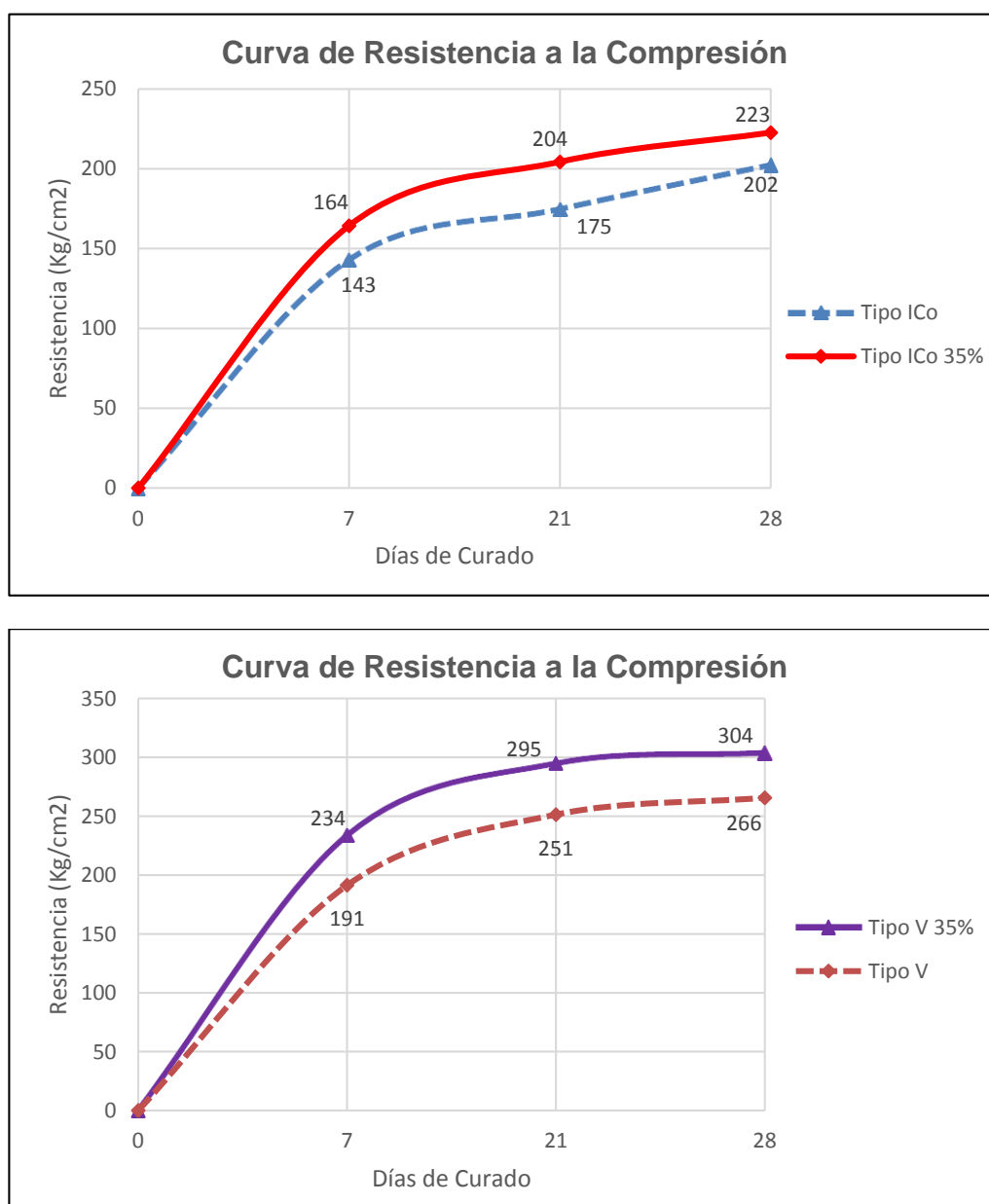


Fuente: Elaboración Propia

4.7.3. Resistencia al esfuerzo de Compresión de Concreto con 35% de Ecogavilla:

La siguiente figura, se muestra la evolución de las resistencias de los concretos por cada tipo de cemento usado en la investigación. Esta mezcla ha sido alterada en sus agregados, usando 35% de Ecogavilla y 65% de piedra. Es notorio también, que la resistencia de los concretos con tipo V está por encima del valor diseño (210 Kg/cm²) y también de los concretos con Tipo ICO.

Figura 22: Resistencia a la compresión del concreto con cemento tipo ICO (superior) y tipo V (inferior) usando 35% de Ecogavilla

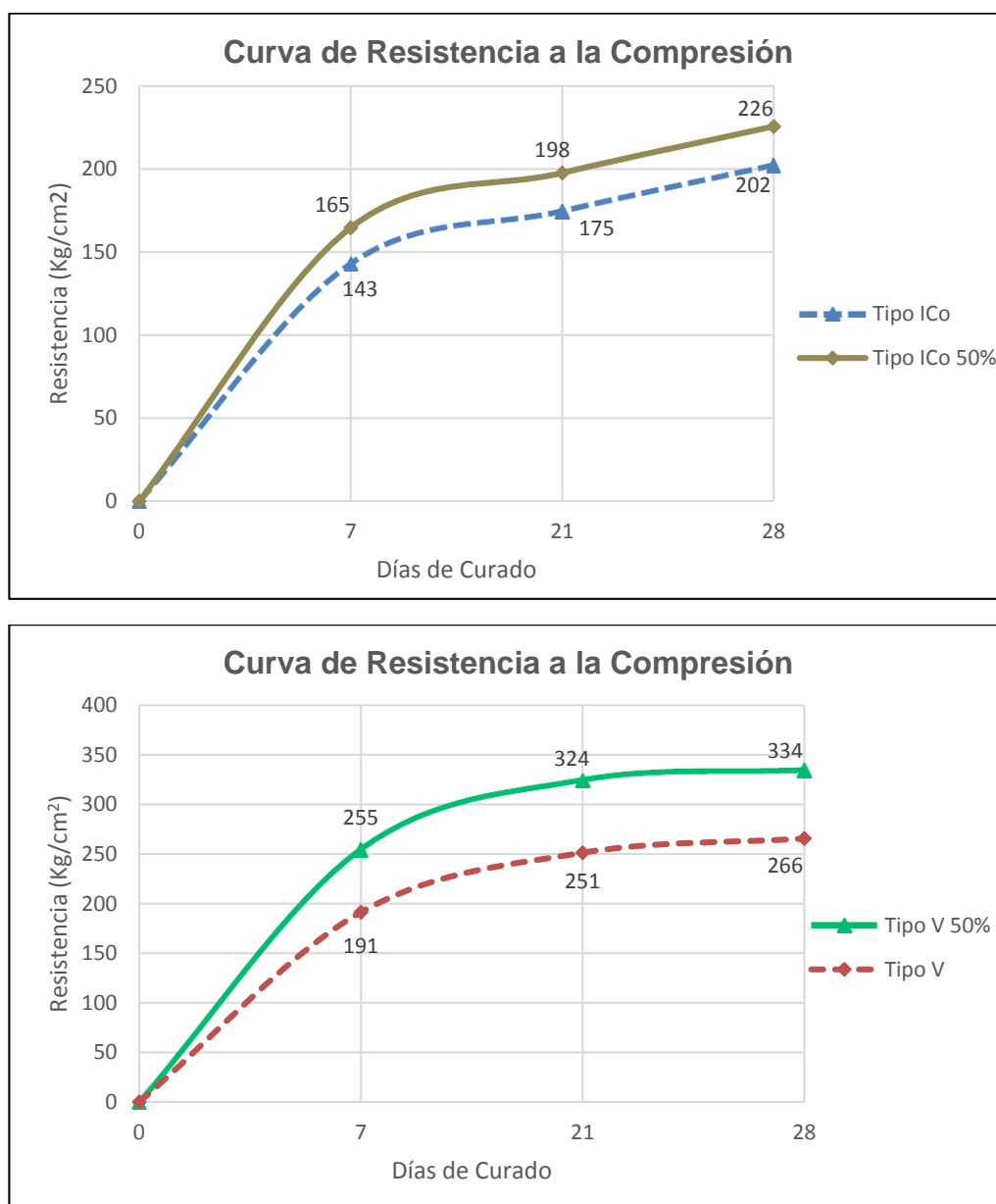


Fuente: Elaboración Propia

4.7.4. Resistencia al esfuerzo de Compresión de Concreto con 50% de Ecogravilla:

La siguiente figura, se muestra la evolución de las resistencias de los concretos por cada tipo de cemento usado en la investigación. Esta mezcla ha sido alterada en sus agregados, usando 50% de Ecogravilla y 50% de piedra. Es notorio también, que la resistencia de los concretos con tipo V está por encima del valor diseño (210 Kg/cm²) y también de los concretos con Tipo ICO.

Figura 23: Resistencia a la compresión del concreto con cemento tipo ICO (superior) y tipo V (inferior) usando 50% de Ecogravilla

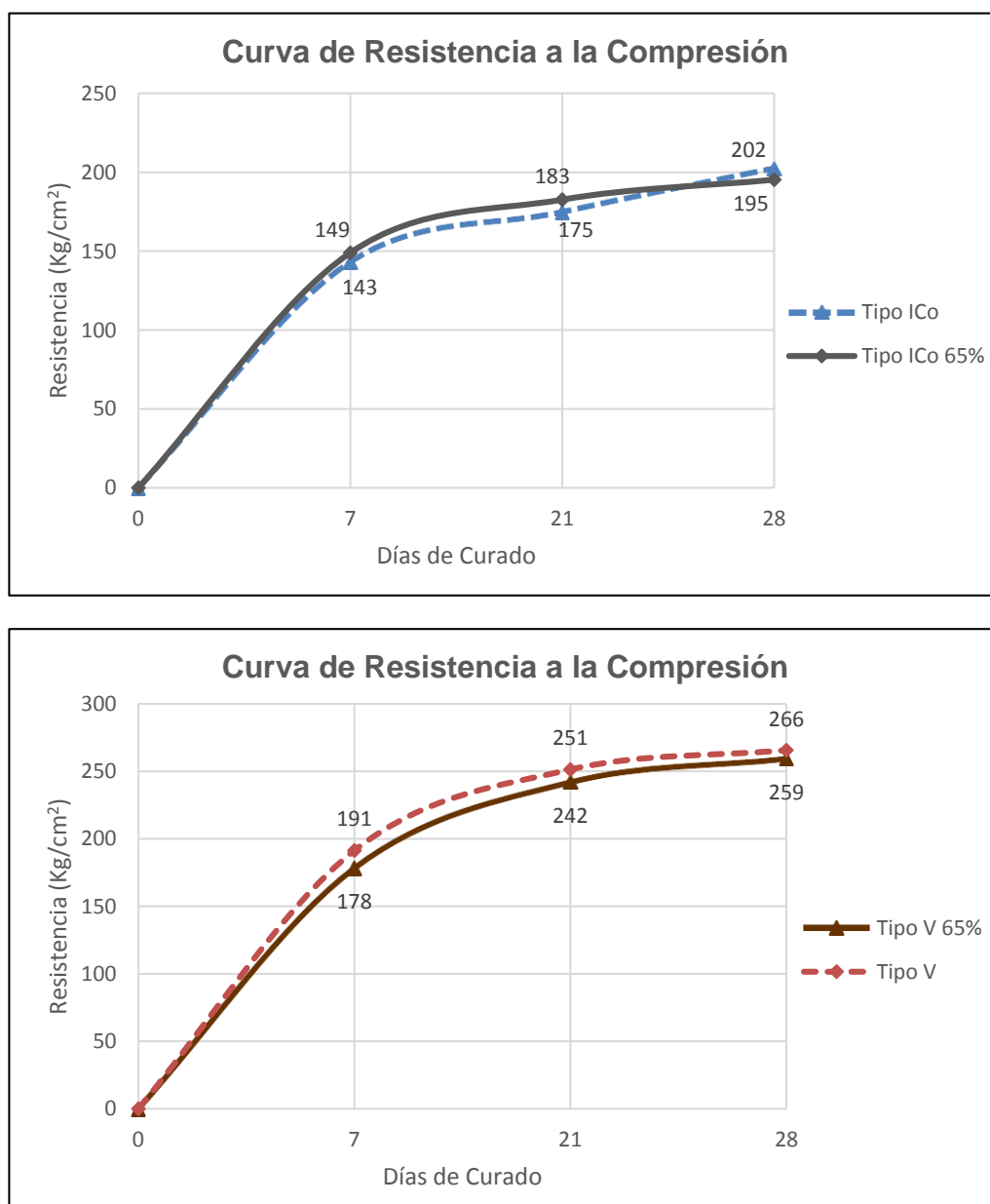


Fuente: Elaboración Propia

4.7.5. Resistencia al esfuerzo de Compresión de Concreto con 65% de Ecogavilla:

La siguiente figura, se muestra la evolución de las resistencias de los concretos por cada tipo de cemento usado en la investigación. Esta mezcla ha sido alterada en sus agregados, usando 65% de Ecogavilla y 35% de piedra. Es notorio también, que la resistencia de los concretos con tipo V está por encima del valor diseño (210 Kg/cm²) y también de los concretos con Tipo ICo.

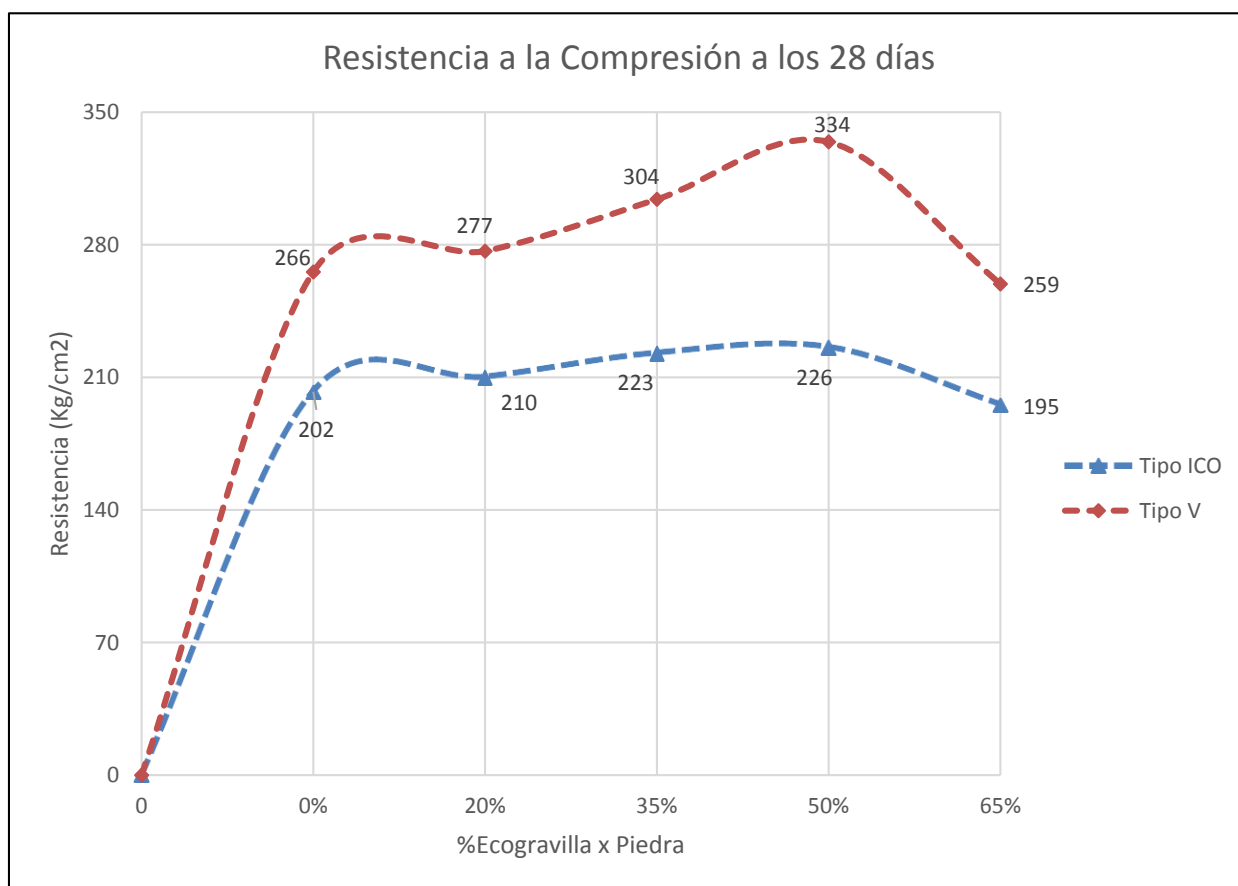
Figura 24: Resistencia a la compresión del concreto con cemento tipo ICO (superior) y tipo V (inferior) usando 65% de Ecogavilla



Fuente: Elaboración Propia

Después de mostrar el comportamiento de las muestras de concreto ensayadas a compresión, se recopila en la siguiente figura la evolución del concreto a partir de la sustitución progresiva de la piedra por Ecogravilla. Esta grafica está diferenciada por el tipo de cemento que hemos aplicado. Se tiene elevadas resistencias que sobrepasan la resistencia de diseño de 210 Kg/cm², hasta cuando se reemplaza la mitad de la Ecogravilla en ambos casos. Sin embargo, se aprecia una caída de la resistencia cuando ya tiene más del 65% de escoria, siendo indicio para no seguir incrementando de Ecogravilla (áridos siderúrgicos) tal y como lo revelan los antecedentes explicados en este trabajo.

Figura 25: Resistencia al esfuerzo de compresión del concreto a los 28 días de curado



Fuente: Elaboración Propia

4.8. Ensayo de Penetración de agua (Permeabilidad)

En las siguientes tablas, se muestra los datos obtenidos luego de realizar el ensayo de permeabilidad de penetración de agua a cada tipo de concreto elaborado. Considerar que 0% significa que es el concreto patrón, sin alteración de sus componentes.

Tabla 53: Resultados del ensayo de penetración del agua en concretos con cemento Tipo ICO

%Ecogravilla x Piedra	Muestra	Max. Profundidad Media (mm)	Max Prof. Media Promedio (mm)
0%	M-1	45	42.5
	M-2	40	
20%	M-3	36	35
	M-4	34	
35%	M-5	35	32.5
	M-6	30	
50%	M-7	29	28.5
	M-8	28	
65%	M-9	40	40
	M-10	40	

Fuente: Elaboración Propia

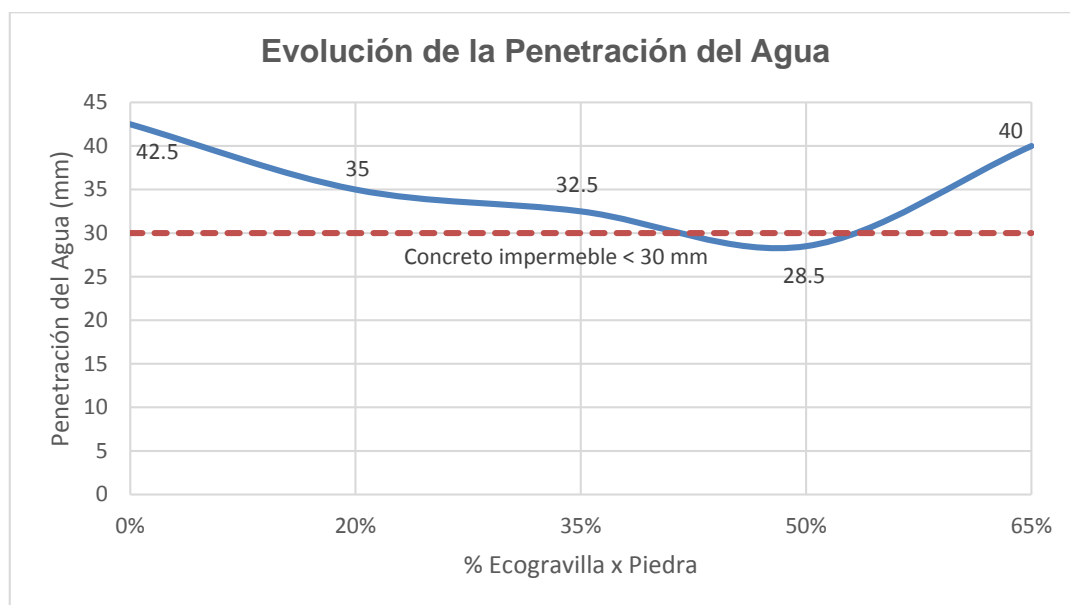
Tabla 54: Resultados del ensayo de penetración del agua en concretos con cemento Tipo V

%Ecogravilla x Piedra	Muestra	Max. Profundidad Media (mm)	Max Prof. Media Promedio (mm)
0%	M-1	37	34.5
	M-2	32	
20%	M-3	28	29
	M-4	30	
35%	M-5	29	28
	M-6	27	
50%	M-7	21	20.5
	M-8	20	
65%	M-9	22	22.5
	M-10	23	

Fuente: Elaboración Propia

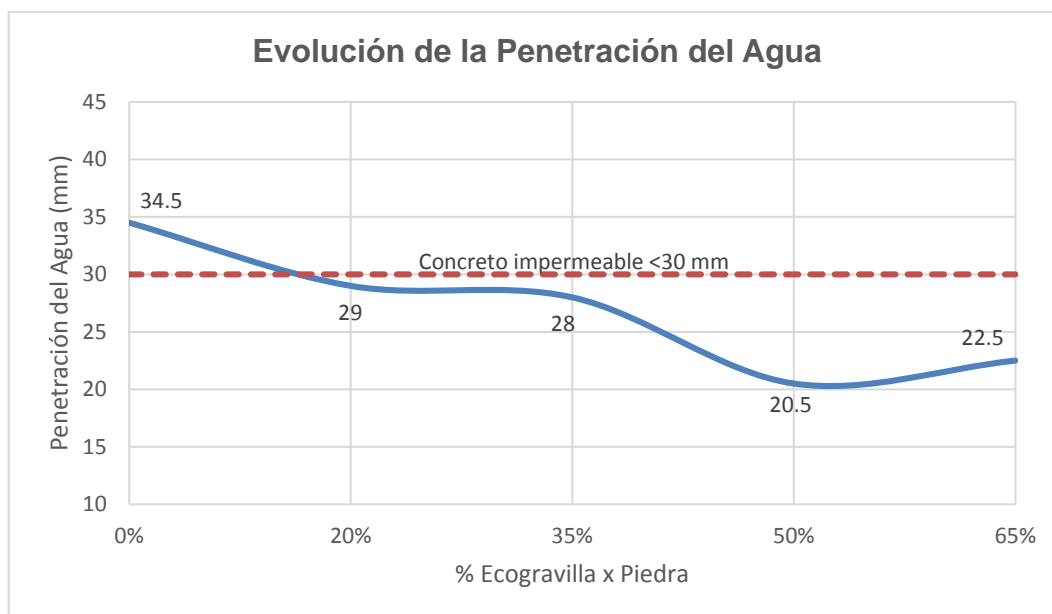
A continuación, se presenta la evolución de la penetración del agua a medida que va aumentando la sustitución de la piedra por Ecogravilla. Las gráficas están divididas por los tipos de cementos usados en la elaboración de los concretos.

Figura 26: Evolución de la penetración del agua en los concretos con cemento Tipo ICO



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27: Evolución de la penetración del agua en los concretos con cemento Tipo V



Fuente: Elaboración Propia

4.9. Resultados del análisis de datos:

4.9.1. Normalidad de datos:

Haciendo uso de la prueba de Shapiro-Wilk debido a que nuestra muestra es menor de treinta (30), se comprueba el criterio de Normalidad de los datos. Para la prueba se consideran las siguientes hipótesis:

(Para la variable de resistencia de compresión a 28 días de curado, n=15)

- **Hipótesis Nula (H_0):** Los resultados de resistencia a la compresión tienen una distribución normal
- **Hipótesis alterna (H_1):** Los resultados de resistencia a la compresión no tienen una distribución normal

(Para la variable de permeabilidad, n=10)

- **Hipótesis Nula (H_0):** Los resultados de permeabilidad tienen una distribución normal
- **Hipótesis alterna (H_1):** Los resultados de permeabilidad no tienen una distribución normal

El criterio para determinar si las variables tienen distribución normal es (α : Porcentaje de error 5%):

- **P-Valor $\geq \alpha$,** se acepta H_0 (los datos tienen una distribución normal)
- **P-Valor $< \alpha$,** se acepta H_1 (los datos no tienen una distribución normal)

Establecido los criterios, se ingresó los datos al software SPSS v24.0, obteniendo lo siguiente:

Tabla 55: Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk en la variable de resistencia a la compresión a 28 días de curado

PRUEBAS DE NORMALIDAD			
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	P-valor
Resistencia (Tipo ICO)	0.963	14	0.738
Resistencia (Tipo V)	0.903	14	0.106

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 56: Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk en la variable de permeabilidad.

PRUEBAS DE NORMALIDAD			
PERMEABILIDAD	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	P-valor
Permeabilidad Tipo ICO	0.941	9	0.563
Permeabilidad Tipo V	0.950	9	0.668

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar los valores resaltados de amarillo de las tablas 55 y 56, el P-valor en ambas variables es mayor que el porcentaje de error de 0.05. Por lo tanto, los datos de las variables de resistencia a la compresión (a 28 días de curado) y permeabilidad presentan una distribución normal.

4.9.2. Prueba de hipótesis:

Luego de haber evaluado y verificado la distribución normal de los datos de las variables dependientes por medio de la prueba de Shapiro-Wilk, se procede a utilizar la prueba paramétrica T de Student, para poder comprobar la igualdad o no de los promedios aritméticos de las muestras. Los criterios a tomar en cuenta para la decisión estadística son:

- Si la probabilidad obtenida **P-Valor** $\leq \alpha$, se rechaza la hipótesis H_0 .
- Si la probabilidad obtenida **P-Valor** $> \alpha$, se acepta la hipótesis H_0 .

a. Hipótesis Específica 1:

- **Redacción**

La sustitución de un 20% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

Tabla 57: Hipótesis a considerar para el grupo 20% de Ecogravilla (Cemento Tipo ICO).

Resistencia a la Compresión	Permeabilidad
H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 20% de Ecogravilla.	H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 20% de Ecogravilla.
H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 20% de Ecogravilla.	H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 20% de Ecogravilla.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 58: Hipótesis a considerar para el grupo 20% de Ecogravilla (Cemento Tipo V).

Resistencia a la Compresión	Permeabilidad
H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 20% de Ecogravilla.	H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 20% de Ecogravilla.
H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 20% de Ecogravilla.	H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 20% de Ecogravilla.

Fuente: Elaboración Propia

- **Porcentaje de Error (α):**

El valor del porcentaje de error tomado para la realización de la prueba estadística es de 5%.

- **Prueba de T-Student**

Se calculó el P-Valor con la prueba T-Student usando el software SPSS v24.0, obteniendo lo siguiente:

Tabla 59: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso de cemento Tipo ICO y 20% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.0_20		N	Media	Desviación estándar
Tipo.ICO.0_20	Tipo.ICO-0%	3	202.333	4.041
	Tipo.ICO-20%	3	210.000	4.583
Prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
-2.173	2	0.095	-17.461	2.128

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 60: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo ICO y 20% de Ecogravilla.

Estadísticas de grupo				
Grupo.Tipo.ICO		N	Media	Desviación estándar
Permeabilidad.Tipo.ICO	ICO-0%	2	42.500	3.536
	ICO-20%	2	35.000	1.414
Prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
2.785	2	0.108	-4.085	19.085

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 61: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso del cemento Tipo V y 20% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.0_20		N	Media	Desviación estándar
Tipo.V.0_20	Tipo.V-0%	3	265.667	7.095
	Tipo.V-20%	3	276.667	12.858
Prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
-1.297	2	0.264	-34.541	12.541

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 62: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo V y 20% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.Tipo.V		N	Media	Desviación estándar
Permeabilidad.Tipo.V	V-0%	2	34.500	3.536
	V-20%	2	29.000	1.414
Prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
2.043	2	0.178	-6.085	17.085

Fuente: Elaboración Propia

Juntando todos los valores del P-valor, se tiene en resumen lo siguiente:

Tabla 63: Resumen de la prueba T-Student para la hipótesis específica 1

	Cemento Tipo ICO	Cemento Tipo V
Resistencia a la Compresión	P-Valor>0.05	P-Valor>0.05
Permeabilidad	P-Valor>0.05	P-Valor>0.05

Fuente: Elaboración Propia

- **Conclusión:**

Por lo tanto se infiere que: para los casos de los concretos hechos con cementos Tipo ICO o Tipo V se tiene que a pesar que la media de los valores de la resistencia a la compresión y permeabilidad de los concretos con 20% de Ecogravilla es mayor y menor respectivamente a lo obtenido por el concreto patrón (0% de Ecogravilla), el tamaño de la muestra no es significativa para sustentar dicha aseveración.

b. Hipótesis Específica 2:

- **Redacción**

La sustitución de un 35% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

Tabla 64: Hipótesis a considerar para el grupo 35% de Ecogravilla (Cemento Tipo ICO).

Resistencia a la Compresión	Permeabilidad
<p>H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 35% de Ecogravilla.</p> <p>H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 35% de Ecogravilla.</p>	<p>H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 35% de Ecogravilla.</p> <p>H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 35% de Ecogravilla.</p>

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 65: Hipótesis a considerar para el grupo 35% de Ecogravilla (Cemento Tipo V).

Resistencia a la Compresión	Permeabilidad
H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 35% de Ecogravilla.	H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 35% de Ecogravilla.
H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 35% de Ecogravilla.	H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 35% de Ecogravilla.

Fuente: Elaboración Propia

- **Porcentaje de Error (α):**

El valor del porcentaje de error tomado para la realización de la prueba estadística es de 5%.

- **Prueba de T-Student**

Se calculó el P-Valor con la prueba T-Student usando el software SPSS v24.0, obteniendo lo siguiente:

Tabla 66: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso de cemento Tipo ICO y 35% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.0_35		N	Media	Desviación estándar
Tipo.ICO.0_35	Tipo.ICO-0%	3	202.333	4.041
	Tipo.ICO-35%	3	222.667	6.110
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
-4.807	4	0.009	-32.076	-8.590

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 67: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo ICO y 35% de Ecogravilla.

Estadísticas de grupo				
Grupo.Tipo.ICO		N	Media	Desviación estándar
Permeabilidad.Tipo.ICO	ICO-0%	2	42.500	3.536
	ICO-35%	2	32.500	3.536
Prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
2.828	2	0.106	-5.212	25.212

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 68: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso del cemento Tipo V y 35% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.0_35		N	Media	Desviación estándar
Tipo.V.0_35	Tipo.V-0%	3	265.667	7.095
	Tipo.V-35%	3	304.000	5.568
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
-7.362	4	0.002	-52.790	23.877

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 69: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo V y 35% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.Tipo.V		N	Media	Desviación estándar
Permeabilidad.Tipo.V	V-0%	2	34.500	3.536
	V-35%	2	28.000	1.414
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
2.414	2	0.137	-5.085	18.085

Fuente: Elaboración Propia

Juntando todos los valores del P-valor, se tiene en resumen lo siguiente:

Tabla 70: Resumen de la prueba T-Student para la hipótesis específica 2

	Cemento Tipo ICO	Cemento Tipo V
Resistencia a la Compresión	P-Valor<0.05	P-Valor<0.05
Permeabilidad	P-Valor>0.05	P-Valor>0.05

Fuente: Elaboración Propia

- **Conclusión:**

Por lo tanto se infiere que: para el caso de los concretos hechos con cementos Tipo ICO o Tipo V se tiene que la media de los valores de la resistencia a la compresión de los concretos con 35% de Ecogravilla es mayor a lo obtenido por el concreto patrón (0% de Ecogravilla) debido a que el tamaño de la muestra es significativa para sustentar dicha aseveración. Pero, a pesar que la media de los valores de la permeabilidad de los concretos con 35% de Ecogravilla no supera a lo obtenido por el concreto patrón, el tamaño de la muestra no es significativa para sustentar esta aseveración.

c. Hipótesis Específica 3:

- **Redacción**

La sustitución de un 50% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

Tabla 71: Hipótesis a considerar para el grupo 50% de Ecogravilla (Cemento Tipo ICO).

Resistencia a la Compresión	Permeabilidad
H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.	H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.
H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.	H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 72: Hipótesis a considerar para el grupo 50% de Ecogravilla (Cemento Tipo V).

Resistencia a la Compresión	Permeabilidad
H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.	H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.
H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.	H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.

Fuente: Elaboración Propia

- **Porcentaje de Error (α):**

El valor del porcentaje de error tomado para la realización de la prueba estadística es de 5%.

- **Prueba de T-Student**

Se calculó el P-Valor con la prueba T-Student usando el software SPSS v24.0, obteniendo lo siguiente:

Tabla 73: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso de cemento Tipo ICO y 50% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.0_50		N	Media	Desviación estándar
Tipo.ICO.0_50	Tipo.ICO-0%	3	202.333	4.041
	Tipo.ICO-50%	3	225.667	6.506
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
-5.276	4	0.006	-35.611	-11.055

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 74: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo ICO y 50% de Ecogravilla.

Estadísticas de grupo				
Grupo.Tipo.ICO		N	Media	Desviación estándar
Permeabilidad.Tipo.ICO	ICO-0%	2	42.500	3.536
	ICO-50%	2	28.500	0.707
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
5.491	2	0.032	3.030	24.970

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 75: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso del cemento Tipo V y 50% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.0_50		N	Media	Desviación estándar
Tipo.V.0_50	Tipo.V-0%	3	265.667	7.095
	Tipo.V-50%	3	334.333	6.506
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
-12.355	2	0.0002	-84.098	-53.236

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 76: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo V y 50% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.Tipo.V		N	Media	Desviación estándar
Permeabilidad.Tipo.V	V-0%	2	34.500	3.536
	V-50%	2	20.500	0.707
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
5.491	2	0.032	3.030	24.970

Fuente: Elaboración Propia

Juntando todos los valores del P-valor, se tiene en resumen lo siguiente:

Tabla 77: Resumen de la prueba T-Student para la hipótesis específica 3

	Cemento Tipo ICO	Cemento Tipo V
Resistencia a la Compresión	P-Valor<0.05	P-Valor<0.05
Permeabilidad	P-Valor<0.05	P-Valor<0.05

Fuente: Elaboración Propia

- **Conclusión:**

Por lo tanto se infiere que: para el caso de los concretos hechos con cementos Tipo ICO o Tipo V se tiene que la media de los valores de la resistencia a la compresión y permeabilidad de los concretos con 50% de Ecogravilla es mayor y menor respectivamente a lo obtenido por el concreto patrón (0% de Ecogravilla) debido a que el tamaño de la muestra es significativa para sustentar dicha aseveración.

d. Hipótesis Específica 4:

- **Redacción**

La sustitución de un 65% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero, elaborado ya sea con Cemento Tipo ICO o Tipo V, incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad en las probetas de concreto ensayadas en el Laboratorio de QCE S.A.C y SIKA PERÚ S.A. respectivamente, después de 28 días de curado.

Tabla 78: Hipótesis a considerar para el grupo 65% de Ecogravilla (Cemento Tipo ICO).

Resistencia a la Compresión	Permeabilidad
H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 65% de Ecogravilla.	H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 65% de Ecogravilla.
H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 65% de Ecogravilla.	H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 65% de Ecogravilla.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 79: Hipótesis a considerar para el grupo 65% de Ecogravilla (Cemento Tipo V).

Resistencia a la Compresión	Permeabilidad
H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 50% de Ecogravilla.	H₀: No existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 65% de Ecogravilla.
H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 65% de Ecogravilla.	H₁: Existe una diferencia significativa entre la media de los valores de la permeabilidad del grupo de 0% de Ecogravilla de escoria de acero y la media de los valores de la resistencia a la compresión del grupo de 65% de Ecogravilla.

Fuente: Elaboración Propia

- **Porcentaje de Error (α):**

El valor del porcentaje de error tomado para la realización de la prueba estadística es de 5%.

- **Prueba de T-Student**

Se calculó el P-Valor con la prueba T-Student usando el software SPSS v24.0, obteniendo lo siguiente:

Tabla 80: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso de cemento Tipo ICO y 65% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.0_65		N	Media	Desviación estándar
Tipo.ICO.0_65	Tipo.ICO-0%	3	202.333	4.041
	Tipo.ICO-65%	3	195.333	5.508
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
1.775	4	0.151	-3.950	17.950

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 81: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo ICO y 65% de Ecogravilla.

Estadísticas de grupo				
Grupo.Tipo.ICO		N	Media	Desviación estándar
Permeabilidad.Tipo.ICO	ICO-0%	2	42.500	3.536
	ICO-65%	2	40.000	0.000
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
1.000	2	0.423	-8.257	13.257

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 82: P-Valor de la Resistencia a la compresión para el caso del cemento Tipo V y 65% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.0_65		N	Media	Desviación estándar
Tipo.V.0_65	Tipo.V-0%	3	265.667	7.095
	Tipo.V-65%	3	259.333	6.028
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
1.178	2	0.304	-8.590	21.256

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 83: P-Valor de la Permeabilidad para el caso del cemento Tipo V y 65% de Ecogravilla

Estadísticas de grupo				
Grupo.Tipo.V		N	Media	Desviación estándar
Permeabilidad.Tipo.V	V-0%	2	34.500	3.536
	V-65%	2	22.500	0.707
prueba t para la igualdad de medias				
t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
			Inferior	Superior
4.707	2	0.042	1.030	22.970

Fuente: Elaboración Propia

Juntando todos los valores del P-valor, se tiene en resumen lo siguiente:

Tabla 84: Resumen de la prueba T-Student para la hipótesis específica 4

	Cemento Tipo ICO	Cemento Tipo V
Resistencia a la Compresión	P-Valor>0.05	P-Valor>0.05
Permeabilidad	P-Valor>0.05	P-Valor<0.05

Fuente: Elaboración Propia

- **Conclusión:**

Por lo tanto se infiere que: para el caso de los concretos hechos con cementos Tipo ICO se tiene que a pesar que la media de los valores de la resistencia a la compresión y permeabilidad de los concretos con 65% de Ecogravilla es mayor y menor respectivamente a lo obtenido por el concreto patrón (0% de Ecogravilla), el tamaño de la muestra no es significativa para sustentar dicha aseveración.

Y para el caso de los concretos hechos con cementos Tipo V se tiene que a pesar que la media de los valores de la resistencia a la compresión de los concretos con 65% de Ecogravilla es mayor a lo obtenido por el concreto patrón (0% de Ecogravilla), el tamaño de la muestra no es significativa para este sustento. Pero, la media de los valores de la permeabilidad de los concretos con 65% de Ecogravilla no supera a lo obtenido por el concreto patrón debido a que el tamaño de la muestra es significativa para sustentar esta aseveración.

4.10. Regresión y correlación de los datos:

A continuación se presentará un cuadro sobre las líneas de tendencia y valor “r” de correlación para cada variable estudiada. Considerar que “f’c” es la variable resistencia a la compresión; “Pm” es la variable Permeabilidad y “%E” es el porcentaje de Ecogravilla.

Tabla 85: Resultados de las Líneas de Tendencia de la Resist. a la Compresión a 28 días de curado (Cemento Tipo ICO)

Líneas de Tendencia	Ecuación	Correlación
Lineal	$f'c = 0.20(\%E) + 210.60$	0.02
Polinómica	$f'c = -214.35(\%E)^2 + 141.65(\%E) + 198.84$	0.78
Exponencial	$f'c = 210.68e^{0.0003(\%E)}$	0.01
Logarítmica	$f'c = 4.0707 \log(\%E) + 207.30$	0.19

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 86: Resultados de las Líneas de Tendencia de la Resist. a la Compresión a 28 días de curado (Cemento Tipo V)

Líneas de Tendencia	Ecuación	Correlación
Lineal	$f'c = 4.3(\%E) + 275.10$	0.22
Polinómica	$f'c = -405.26(\%E)^2 + 293.32(\%E) + 255.95$	0.69
Exponencial	$f'c = 275.44e^{0.0134(\%E)}$	0.20
Logarítmica	$f'c = 16.744 \log(\%E) + 271.97$	0.34

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 87: Resultados de las Líneas de Tendencia de permeabilidad (Cemento Tipo ICO)

Líneas de Tendencia	Ecuación	Correlación
Lineal	$Pm = -8.035(\%E) + 38.432$	0.34
Polinómica	$Pm = 91.982(\%E)^2 - 67.662(\%E) + 43.344$	0.85
Exponencial	$Pm = 38.099e^{-0.224(\%E)}$	0.34

Fuente: Elaboración Propia

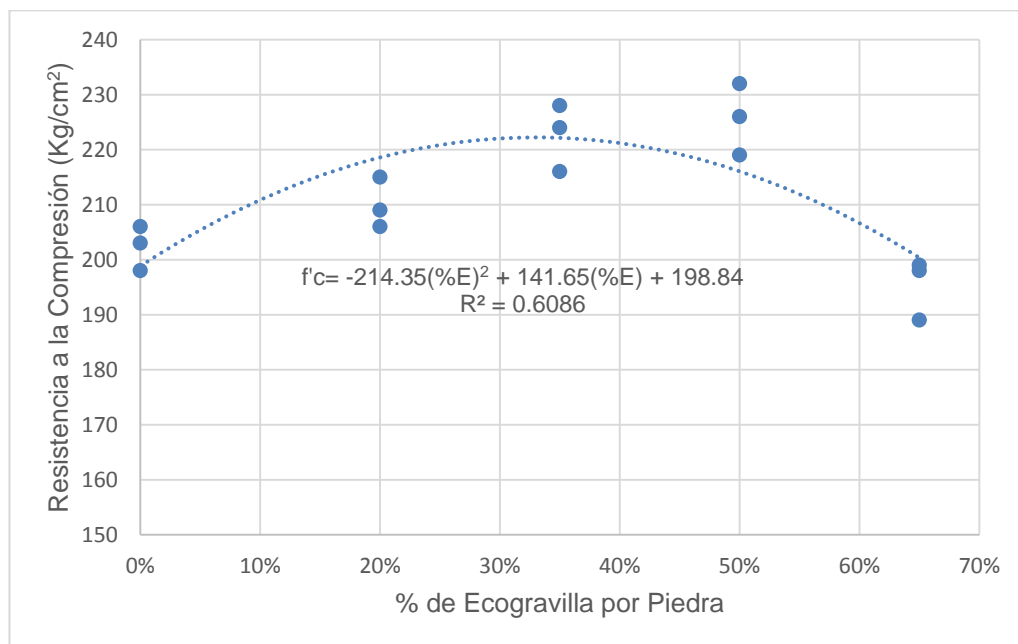
Tabla 88: Resultados de las Líneas de Tendencia de permeabilidad (Cemento Tipo V)

Líneas de Tendencia	Ecuación	Correlación
Lineal	$Pm = -20.447(\%E) + 33.852$	0.90
Polinómica	$Pm = 16.353(\%E)^2 - 31.048(\%E) + 34.725$	0.91
Exponencial	$Pm = 34.088e^{-0.75(\%E)}$	0.89

Fuente: Elaboración Propia

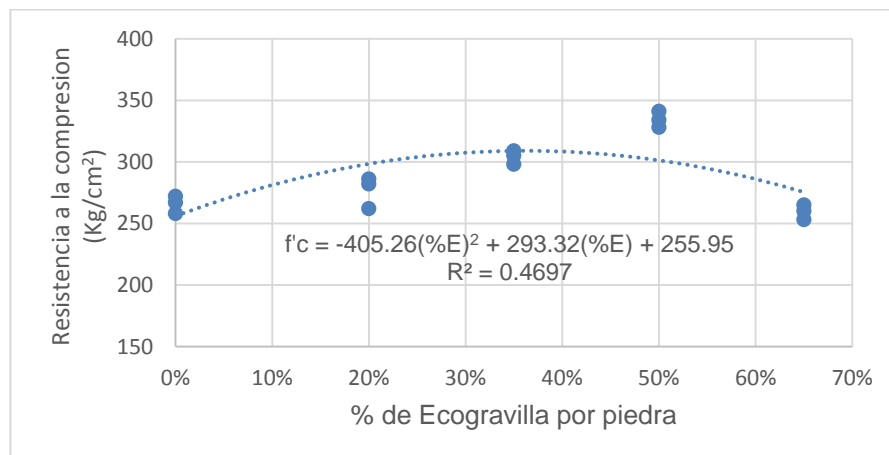
De los tablas anteriores, se puede observar que las funciones polinómicas de grado 2 son las que mejor se ajustan a los datos, debido a que los valores de correlación de estas funciones es cercana a 1. Por lo que las gráficas quedarían de la siguiente manera:

Figura 28: Línea de Tendencia de la Resistencia a la compresión (Tipo ICO)



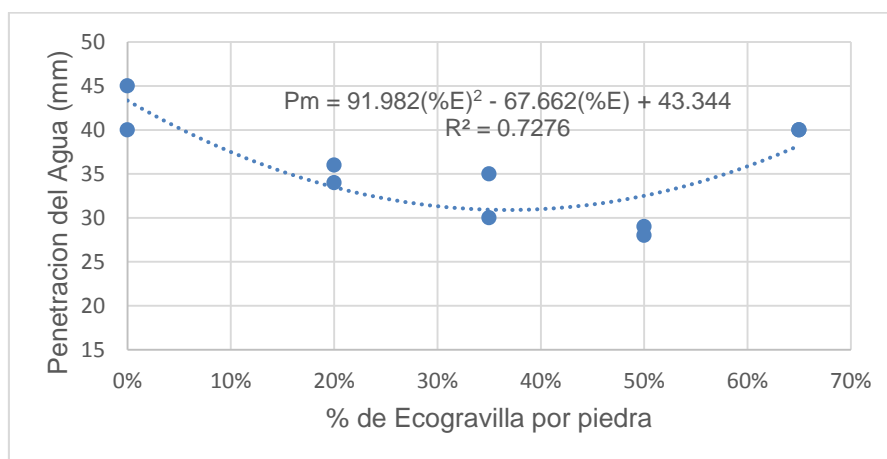
Fuente: Elaboración Propia

Figura 29: Línea de Tendencia de la Resistencia a la compresión (Tipo V)



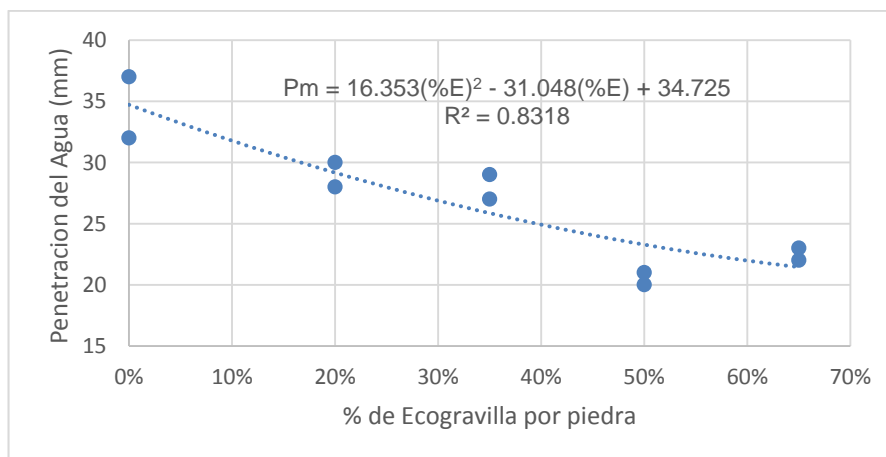
Fuente: Elaboración Propia

Figura 30: Línea de Tendencia de la Permeabilidad (Tipo ICO)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 31: Línea de Tendencia de la Permeabilidad (Tipo V)



Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

5.1. Áridos:

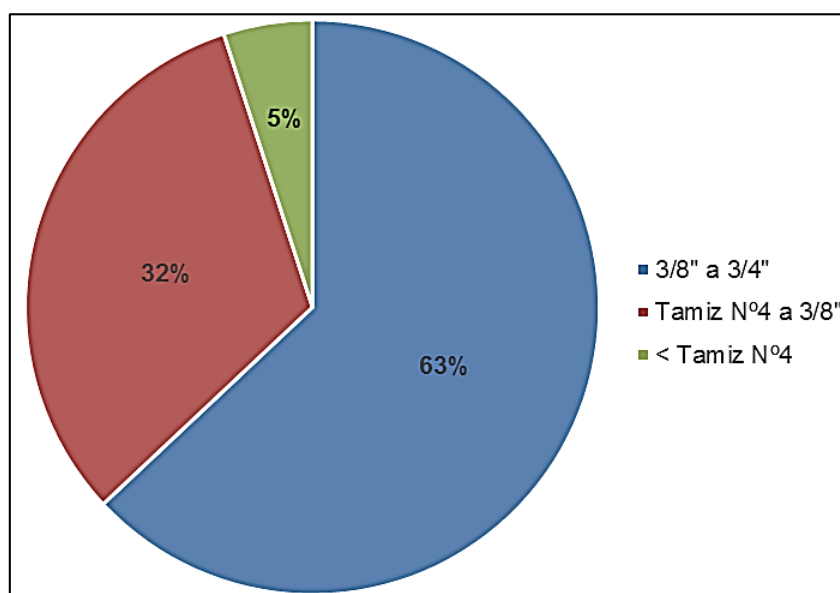
5.1.1. Áridos naturales:

a. Agregado grueso:

La piedra utilizada en este trabajo puede ser considerado como un agregado normal según la teoría que explica Kosmatka et al (2004) debido a: su peso específico de 2.70 g/cm^3 está dentro de los límites de 2.4 g/cm^3 a 2.9 g/cm^3 y su peso unitario suelto de 1540 Kg/m^3 cumpliendo con los límites de 1200 a 1750 Kg/m^3 . El peso específico define que tan poco poroso está el material, mientras mayor sea su peso aparente menor será los huecos que presente el agregado.

En el análisis granulométrico de la muestra de piedra, poseen un Tamaño máximo nominal de $3/4"$, lo que nos permitirá alcanzar altas resistencias en el concreto, además que también es el tamaño predominante en las partículas de Ecogravilla. El coeficiente de uniformidad de la muestra representativa es 2.24 unidades, lo que implica a que esta piedra no presente una buena gradación, es decir una Grava pobremente graduada (GP). El módulo de finura es de 6.59.

Figura 32: Distribución de los tamaños de la granulometría del Agregado Grueso



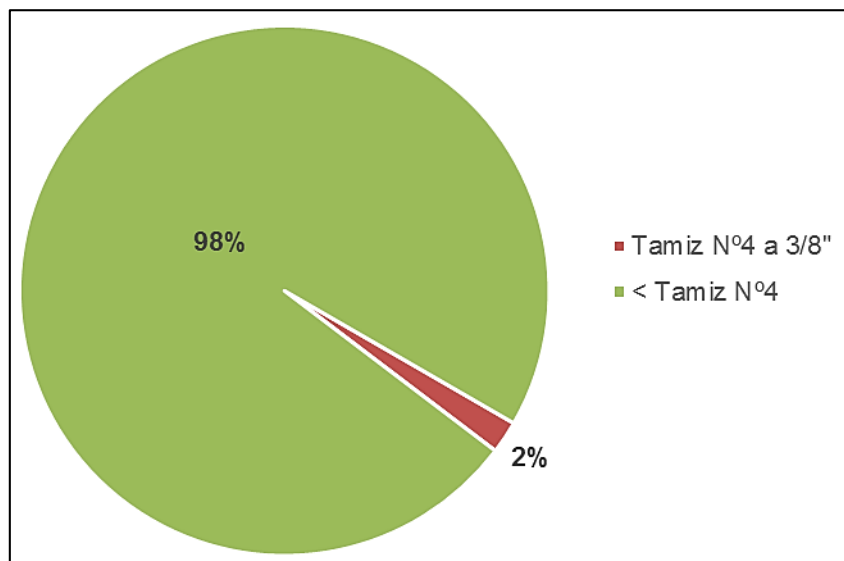
Fuente: Elaboración Propia

b. Agregado Fino:

La arena utilizada en este trabajo también es clasificado como un agregado normal según Kosmatka et al (2004), puesto que: su peso específico de 2.63 g/cm^3 se encuentra dentro de los límites de 2.4 g/cm^3 a 2.9 g/cm^3 ; peso unitario suelto de 1620 Kg/m^3 dentro de los límites de 1200 a 1750 Kg/m^3 .

En el análisis granulométrico de la muestra de arena, se obtuvo un Módulo de finura de 2.98, siendo considerada según lo expuesto por Kosmatka et al (2004), una arena gruesa debido a que el valor está cerca de 3.0, por ello el material presentó una buena trabajabilidad siendo este idóneo para lograr una buena resistencia. El coeficiente de uniformidad de la muestra es de 5.54 unidades, es decir, que no tiene una buena gradación. La clasificación por el método SUCS es de una arena pobremente graduada (SP).

Figura 33: Distribución de los tamaños de la granulometría del Agregado Fino



Fuente: Elaboración Propia

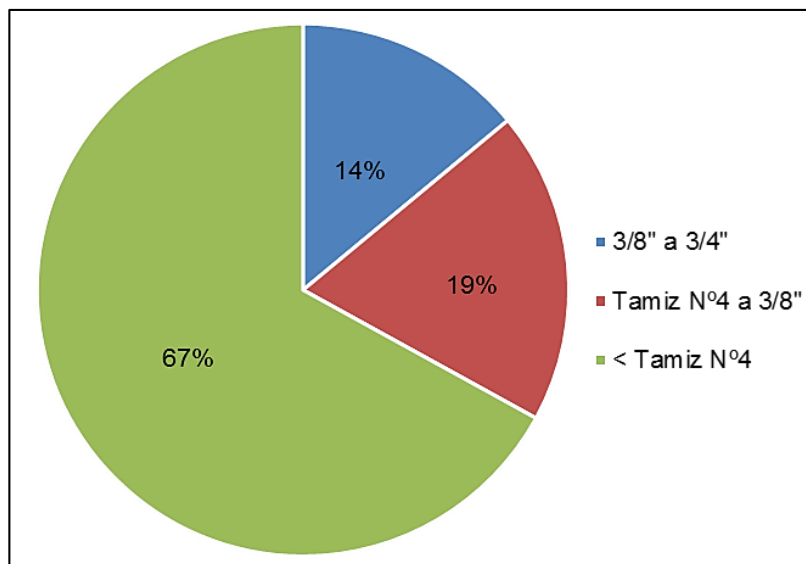
5.1.2. Áridos siderúrgicos:

El tipo de árido siderúrgico utilizado en este trabajo es la Ecogravilla, proveniente de la Corporación de Aceros Arequipa. Su peso específico de 3.06 g/cm^3 siendo su valor superior en 13% y 16% a los agregados finos y gruesos respectivamente, lo que demuestran lo pesado que es este material. Además, presenta un porcentaje de absorción casi 5 veces mayor en comparación a la piedra y arena gruesa, reflejando una mayor demanda de agua al momento de usarlo en concretos convencionales. La forma de las partículas de Ecogravilla es irregular, poca esfericidad y muy rugosos (lo

cual se traduce en su elevada absorción). En relación a su granulometría, tiene un Tamaño máximo nominal de 3/4" pero se compone en su mayoría por partículas de tamaños menores al del tamiz N° 4 (ver figura 34). Además, tiene un Coeficiente de uniformidad y curvatura de 20 y 2 unidades respectivamente, lo que en ingeniería quiere decir que nuestra muestra presenta una buena gradación en comparación de los áridos naturales.

El módulo de finura de 4.30 demuestra también lo grueso que son sus partículas, aunque su valor sea inferior al de la piedra en un 55%, este dato influyó en la decisión de sustituir la Ecogravilla por la piedra en lugar de la arena, a pesar de la mayoría de finos que presenta.

Figura 34: Distribución de los tamaños de la granulometría de la Ecogravilla



Fuente: Elaboración Propia

Su alto valor en el Peso unitario compactado suelto (PUCS) con respecto a los agregados naturales, revela que se obtendrán mezclas con alta compacidad (baja porosidad).

5.2. Concreto Fresco:

En la tabla 50, se aprecia que el concreto patrón para cualquiera de los dos cementos tiene más slump que las muestras con Ecogravilla, a la par que también están dentro del asentamiento propuesto en el diseño de mezcla (6"-7"). Así mismo sus valores obtenidos del contenido de aire, la temperatura de la mezcla y el peso unitario son inferiores a los concretos siderúrgicos.

La mezcla fresca del concreto patrón se encuentra clasificada en función de su slump o asentamiento, según Niño (2010), como mezcla muy húmeda. Se diseñó así para hacerlo

más trabajable y sabiendo que al ir incrementando la cantidad de Ecogravilla hasta sustituir el 65% de la piedra, este slump va ir disminuyendo hasta un 32% para los elaborados con cemento tipo ICo y 40% en concretos con cemento tipo V. Los asentamientos o slump que presentan una mezcla fresca aceptable para usarlos en vaciados de elementos estructurales, son los concretos con porcentajes de 20%, 35% y 50% de Ecogravilla por piedra para ambos tipos de cementos siendo estos clasificados como mezclas semiseca y media

La temperatura que presentan las mezclas de concreto con Ecogravilla se van incrementando hasta casi 26°C cuando este árido siderúrgico reemplaza la mitad de la piedra. Esto se refleja también en la caída de su slump haciéndose cada vez menos trabajable. Pero, cuando la Ecogravilla alcanza a reemplazar la piedra en un 65%, la temperatura de la mezcla es menor o igual al de la mezcla patrón.

El contenido de aire de la mezcla fresca también se ve afectado por el incremento de Ecogravilla en lugar de piedra, afectando así su densidad del concreto. En concretos con cementos tipo ICo, el contenido de aire aumenta a 75% cuando la Ecogravilla reemplaza el 65% de piedra. Por otro lado, lo mismo ocurre para los concretos hechos con cementos tipo V y Ecogravilla en que su valor se ve afectado en un 115% del contenido de aire en relación a su concreto patrón.

Y en cuanto a la densidad o peso unitario, el valor de los concretos mezclados con Ecogravilla va ascendiendo. Cuando la Ecogravilla sustituye el 50% de la piedra, el peso unitario aumenta su valor en 2% para los concretos hechos con ambos tipos de cemento. Luego cuando el porcentaje de sustitución por piedra es 65%, el valor del peso unitario empieza a descender debido a que la gradación de los áridos empieza a tender a tener más partículas de tamaño menor a la malla N°4.

5.3. Resistencia al esfuerzo de Compresión:

A partir de los hallazgos encontrados en los ensayos, se destaca lo siguiente:

- En la figura 20 los concretos convencionales, es decir sin alteración en sus componentes, se aprecia que los resultados de las muestras de concreto tipo ICO no llegan a cumplir la resistencia requerida siendo solo el 96% a los 28 días de curado, pero estos valores mejorarían aumentando más cemento de lo que requiere según el diseño de mezcla, pero se ha decidido no modificarlo.
Caso contrario, ocurre con las muestras de concreto con cemento tipo V, que a los 28 días su resistencia supera a la de diseño en 27%.
- En la figura 21 se aprecia que la resistencia de los concretos en el que se sustituye el 20% de piedra por Ecogravilla aumenta en 4% frente a los valores de los concretos de mezcla patrón a los 28 días de curado y que llega a cumplir con el valor de la resistencia de diseño (210 Kg/cm²) tanto para los concretos que se

hicieron con cementos tipo ICo y tipo V. A pesar de que la nueva relación a/c de 0.58 de los concretos modificados sea mayor al 0.56 de los concretos patrón, la pequeña proporción de 20% Ecogravilla que sustituye a la piedra logra que la haya un ligero aumento de la compacidad de la mezcla. Ese aumento de la relación a/c de los concretos con Ecogravilla se debe al aporte del agua que lo proporciona. Recordar que la Ecogravilla presenta una absorción de 4.6%.

- En la figura 22, los valores de la resistencia al esfuerzo de compresión de los concretos en el que se sustituye el 35% de piedra por Ecogravilla superan a los valores del concreto patrón tanto en 10.40% para los elaborados con cemento tipo ICo como 14.30% para los realizados con cemento tipo V en 28 días de curado respectivamente. La relación a/c también aumenta a 0.59 debido a que ocurre el mismo fenómeno que el anterior caso, con la particularidad que ese aumento representa 11 Lt/m³ más que lo que se obtiene del concreto patrón
- En la figura 23, los valores de la resistencia al esfuerzo de compresión de los concretos en el que se sustituye el 50% de piedra por Ecogravilla aumenta a 12% para los elaborados con cemento tipo ICo como a 25.60% para los realizados con cemento tipo V, este aumento es en base a lo obtenido en sus respectivos concretos patrón. La relación a/c ahora se eleva a 0.60 a causa que ahora el agregado de Ecogravilla aporta mucho más agua debido a su participación del 50%, siendo ese aumento en relación al concreto patrón en 15 Lt/m³. Si se observa la tabla 45, su Peso unitario, también es el mayor al de los otras concretos hechos, lo que lleva a tener relación con lo mencionado por Niño (2010), mientras más denso es el concreto mayor también será su resistencia.
- En la figura 24, los valores de la resistencia al esfuerzo de compresión de los concretos patrón superan a los valores de los concretos en el que se sustituye el 65% de piedra por Ecogravilla tanto en 3.6% para los elaborados con cemento tipo ICo como en 2.70% para los hechos con cemento tipo V. Esta caída de la resistencia en los concretos con Ecogravilla se debe a que el aporte de agua de este agregado siderúrgico es mayor (20 Lt/m³ más que en el concreto patrón) aumentando así la relación a/c a 0.61 y se incrementa la porosidad de la pasta de cemento del concreto. Ojo también en la caída de su densidad, como se puede visualizar en la tabla 45, que es directamente proporcional a la resistencia del concreto.

Por último, en la Figura 25, se observa la evolución que han tenido los valores de la resistencia a la compresión a los 28 días de curado de los concretos elaborados con cemento tipo ICo y tipo V a medida que se ha ido sustituyendo progresivamente la piedra por Ecogravilla, siendo el valor óptimo el de 50% para tener las resistencias elevadas en relación al concreto patrón.

Pero, a partir de que el porcentaje de sustitución es de 65%, la resistencia empieza a decaer debido a que aumenta su relación a/c a comparación del valor de 0.56 del concreto patrón.

5.4. Penetración de Agua bajo presión (Permeabilidad):

En la figura 26 y 27, se observa que el concreto patrón tiene mayor penetración del agua que los concretos que sustituyen o reemplazan la piedra por Ecogravilla. Esto se debe a que los áridos naturales que se emplearon en su fabricación presentan una granulometría uniforme o mal graduada, lo que lleva consigo a que la pasta de concreto fresco tenga mucha porosidad, guardando relación con las afirmaciones de Mattio (2014) y Niño (2010). Lo positivo, por así decirlo, es que en ningún caso ha ocurrido que el agua haya traspasado las probetas de concreto lo que es señal de que tienen buena impermeabilidad tanto para ambos tipos de concreto.

En el caso de los concretos elaborados con cemento tipo ICo en la tabla 53 y figura 26, al ir incrementando el porcentaje de sustitución de Ecogravilla por piedra, los valores de la penetración de agua se reducen hasta casi un 67% cuando se sustituye casi la mitad de la piedra (50%). Estos valores de la profundidad máxima promedio de agua no son menores que 30 mm para los elaborados con este cemento, a excepción de las probetas con 50% de Ecogravilla lo que significa que pueden ser considerado como concretos impermeables según la clasificación que recomienda Hermida (2013) de acuerdo a la norma UNE-EN 12390-8, que es aplicable para la construcción de elementos estructurales como vigas, columnas y techos; pues no se requieren demasiadas exigencias en cuestión de permeabilidad y también no hay normativa que la regule en el Perú. Cuando se reemplaza el 65% de piedra por Ecogravilla, la permeabilidad aumenta hasta casi el valor que se obtuvo con el concreto patrón. Una de los motivos posibles por los que haya ocurrido este incremento es por el exceso de las partículas finas (tamaños menores a 5 mm) entre los áridos naturales y siderúrgicos, muestra de ello es su caída en el valor del peso unitario del concreto fresco.

Por otro lado en los concretos que se elaboraron con cemento tipo V, los valores obtenidos que se muestran en la tabla 54 y figura 27 sobre la penetración del agua, a medida que se va incrementando la sustitución de la Ecogravilla por piedra si están por debajo de los 30 mm que exige la norma española UNE-EN 12390-8, y la penetración se reduce hasta el 59% cuando ya se tiene una sustitución parcial del 50% de la piedra por Ecogravilla. En el caso de cuando se reemplaza el 65% de piedra, la penetración de agua se reduce al 65% lo cual termina siendo contrario a lo mencionado por Niño (2010) y Kosmatka et al (2004) pues el cemento tipo V es menos fino que un cemento tipo ICo. Una de las causas posibles es que a este cemento tipo V que es usado para soportar la exposición severa de los sulfatos, entonces

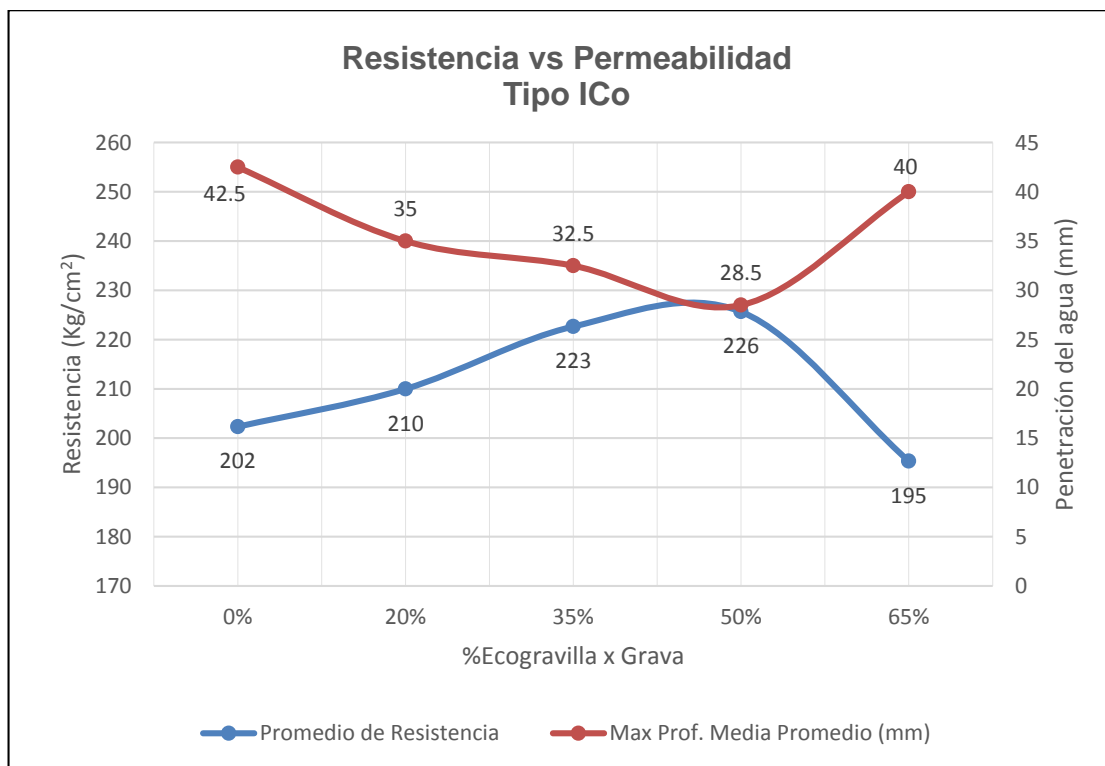
tiene también la consigna de ser menos poroso para que evite el ingreso de estos elementos dañinos para el concreto.

Lo común que tienen estos concretos elaborados con estos dos tipos de cemento, es que hay una mejora en la compacidad y gradación de los áridos al combinar los áridos naturales con la Ecogravilla. Además, la importancia que tienen la textura áspera y su forma irregular de este material en mejora adherencia entre estos elementos y la pasta, pues así como mejoró la resistencia, evita que el concreto sea más poroso.

5.5. Relación entre Resistencia al esfuerzo de compresión y Permeabilidad:

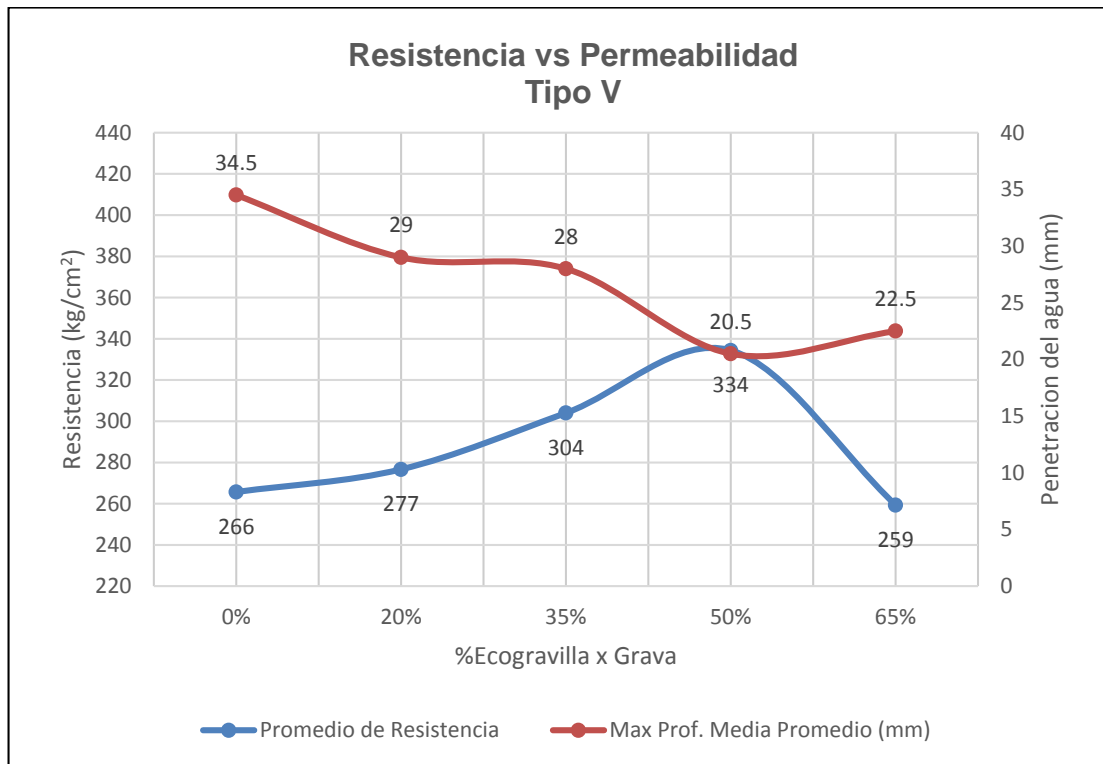
A continuación se presentarán dos gráficos que relacionan la resistencia con la permeabilidad. Ambas variables estudiadas tienen relación con la durabilidad a nivel global del concreto, pues a la par que el concreto debe de tener dureza (alta resistencia) también tiene que durar a la exposición del medio ambiente (en este caso a la exposición del agua, que puede transportar sulfatos o sales dañinas). Además, como menciona Niño (2010), los concretos con más resistencia, son menos permeables.

Figura 35: Resistencia a la compresión VS penetración del agua (permeabilidad) del concreto con cemento tipo ICO



Fuente: Elaboración Propia

Figura 36: Resistencia a la compresión VS penetración del agua (permeabilidad) del concreto con cemento tipo V



Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la figura 35, para los concretos con cemento tipo ICo la sustitución del 50% de piedra por Ecogravilla mejoran la resistencia y reducen la permeabilidad o penetración del agua. Y por si fuera poco, como se puede apreciar en la figura 36, el mismo fenómeno ocurre para los concretos con cemento tipo V si se reemplaza el 50% de piedra por Ecogravilla, con la excepción de que en este tipo de cemento si se llegan a cumplir la condición de tener menor penetración de agua que lo permitido por la norma UNE-EN 12390-8.

5.6. Análisis de la Comprobación de Hipótesis:

En las tablas 63, 70, 77 y 84 se tienen los resultados de las pruebas T de Student, de los cuales la muestra del grupo “50% Ecogravilla” elaborado ya sea con cemento Tipo ICO o Tipo V es significativa para poder asegurar que si sustituye por la piedra este incrementa la resistencia a la compresión y disminuye la permeabilidad del concreto, a diferencia de los demás porcentajes de Ecogravilla debido a que el P-valor obtenido de estos fue mayor al porcentaje de error del 5%.

5.7. Análisis Económico

En las tabla 90 y 91 del Anexo 6, se muestra al detalle el precio unitario del concreto patrón con cemento tipo ICO y tipo V, en los cuales se está considerando en base a un vaciado manual a un muro. Los precios por metro cúbico (m^3) son:

- Concreto patrón con Cemento tipo ICO = S/. 390.02
- Concreto patrón con Cemento tipo V = S/. 449.29

Así mismo en el mismo anexo, en las tablas 92 y 93 se encuentra el análisis de precio del concreto con 50% de sustitución de piedra por Ecogravilla, para ambos casos de uso de cemento. El precio del insumo de Ecogravilla se está considerando \$2.00 por tonelada y un flete de S/. 0.10 por kilogramo transportado desde la planta de Aceros Arequipa hasta Trujillo. Los precios por metro cubico (m^3) son:

- Concreto con Cemento tipo ICO y 50% de Ecogravilla = S/. 438.03
- Concreto con Cemento tipo V y 50% de Ecogravilla = S/. 497.30

Como se puede apreciar, el precio del concreto patrón está por debajo del precio del concreto con Ecogravilla para ambos tipos de cemento. Sin embargo, el concreto con 50% de Ecogravilla presenta mejores ventajas a comparación del concreto patrón como: incremento de la resistencia a la compresión y reducción de la permeabilidad. Por lo que implicaría a que en caso que el muro a construir fuera para una estructura hidráulica, necesitará realizarle un trabajo adicional de tarrajeo con impermeabilizante.

De acuerdo a las tablas 94 y 95, se muestra a detalle el precio unitario de una partida de reparación por tarrajeo con impermeabilizante de acuerdo al tipo de cemento en que se construye el muro. Los precios por metro cuadrado (m^2) son:

- Tarrajeo con Impermeabilizante y cemento tipo ICO = S/. 29.87
- Tarrajeo con Impermeabilizante y cemento tipo V = S/. 30.63

Para poder observar la variación del precio, se plantea el caso de un muro de concreto con un espesor de 0.20 m cuyo contacto será con el agua. Entonces, el cálculo del costo por metro cuadrado (m^2) si se usa cemento tipo ICo es:

Reparación del Muro con Impermeabilizante

- Concreto en Muro por m^2 = S/. 390.02 x 0.20 m^2/m^3 = S/. 78.00+
- Tarrajeo con impermeabilizante de Muro por m^2 = S/. 29.87
S/. 100.87
- Concreto con Ecogravilla en Muro por m^2 = S/. 438.03 x 0.20 m^2/m^3 = S/. 87.61

Por otro lado, el cálculo del costo por metro cuadrado (m^2) si se usa cemento tipo V es:

Reparación del Muro con Impermeabilizante

- Concreto en Muro	=	S/. 449.29 x 0.20 m^2/m^3	=	S/. 89.86+
- Tarrajeo con impermeabilizante de Muro			=	<u>S/. 30.63</u>
				S/. 120.49
- Concreto con Ecogravilla en Muro	=	S/. 497.30 x 0.20 m^2/m^3	=	S/. 99.46

En líneas generales referente a la situación planteada, la construcción y reparación del muro de $e=0.20$ m con concreto de cemento tipo ICO costará por metro cuadrado (m^2) 15% más en lugar de construir un muro con concreto que contenga Ecogravilla. De igual manera ocurre si se construye con concreto de cemento tipo V y repara el muro, pues costará por metro cuadrado (m^2) 21% más que usar concreto con Ecogravilla.

CONCLUSIONES

El uso del árido siderúrgico de la Ecogravilla, obtenido de la empresa Aceros Arequipa, en la industria de la construcción trae consigo muchas bondades para la durabilidad del concreto siempre y cuando se sepa controlar la proporción de su granulometría. A continuación se presentan las conclusiones generales obtenidas luego de la experimentación:

- El impacto de la sustitución del 50% de la piedra por Ecogravilla de escoria de acero generó un incremento del 12% en la resistencia al esfuerzo de compresión y disminuye en 67% la permeabilidad en el concreto elaborado con cemento tipo ICO. Además, en el concreto elaborado con cemento tipo V se generó un incremento del 25.60% en la resistencia al esfuerzo de compresión y disminuye en 59% la permeabilidad con respecto a un concreto patrón.
- La Ecogravilla de escoria de acero es obtenida de los hornos de arcos eléctricos. Este es un árido propicio para obtener una buena resistencia mecánica (a la compresión) y baja permeabilidad, pues a diferencia de áridos naturales usados poseen: una buena gradación, elevada densidad y masa unitaria suelta, una forma irregular y textura áspera que permite una buena adherencia con la pasta de cemento, a pesar de su elevada absorción.
- El incremento de la resistencia a la compresión y disminución de la permeabilidad de los concretos con 50% de Ecogravilla por piedra, se debe a que al combinarlos con los áridos naturales reduce la cantidad de vacíos al momento de aglutinarse con la pasta de cemento, impidiendo la exudación del agua y la formación de los poros capilares. Además, su asentamiento es trabajable para aplicarlo en vaciados de elementos estructurales que tengan o no contacto con el agua.
- La sustitución del 50% de piedra por Ecogravilla en un concreto convencional, usándolo tanto con cemento tipo ICo como con cemento tipo V, resultó ser el porcentaje más óptimo para incrementar las propiedades de la resistencia a la compresión y disminuir la permeabilidad, cumpliendo las prestaciones de un concreto estructural.

- El uso de la Ecogravilla en el concreto termina siendo menos costoso que un concreto convencional, pues a lo largo de vida útil de la estructura donde se le aplica se reduce la cantidad de reparaciones por temas de filtración de agua.

RECOMENDACIONES

Para estudios posteriores, se recomienda realizar los siguientes escenarios:

- Realizar un cribado a las muestras de Ecogravilla y separar en tamaños gruesos y finos. En este trabajo no se le realizó, debido a que al momento de construir los agregados naturales también se le usan tal y como viene de la cantera y realizar un cribado en obra elevaría el costo de los agregados. Es posible que retirando los tamaños finos de la Ecogravilla dejando solo los tamaños gruesos que están por encima de la malla N° 4, se pueda sustituir al 50% por la piedra y así el concreto tenga un mejor comportamiento al mostrado en este trabajo.
- Adicional al ensayo de compresión que hemos realizado (por ser un ensayo requerido en los estándares de calidad de obras de edificaciones), también sería apropiado realizar y observar el comportamiento a flexión del concreto con Ecogravilla para buscar nuevas aplicaciones en obras hidráulicas y de pavimentación (rígida).
- Evaluar otros parámetros de durabilidad de los concretos con Ecogravilla, y saber su comportamiento frente a los ensayos como los ciclos de hielo y deshielo, ciclos mojado-secado (desgaste superficial), influencia del ambiente de exposición, efectos del agua de mar (sobre todo a los concreto con cemento tipo V) y ataque de sulfatos.
- Estudiar la estabilidad volumétrica de la Ecogravilla que proporciona Aceros Arequipa, para poder descartar efectos negativos al usarlo en concreto.
- En la elaboración de mezclas de concreto con Ecogravilla, experimentar usando un aditivo plastificante para poder disminuir la relación a/c ya usada (0.56). Observar su comportamiento en el ensayo de penetración de agua para evaluar su permeabilidad.

REFERENCIAS

- Abrams, D. (1918). Design of Concrete Mixtures. Structural Materials Research Laboratory. Lewis Institute. Chicago. USA.
- Abu-Eishah, S., El Dieb, A. & Bedir, M. (2012). Performance of concrete mixtures made with electric arc furnace (EAF) steel slag aggregate produced in the Arabian Gulf region. Construction and Building Materials 2012; 34: 249-256.
- Amaral de Lima, L. (1999). Hormigones con escorias de horno eléctrico como áridos: propiedades, durabilidad y comportamiento ambiental (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- América Economía (2013). Las 500 Mayores empresas del Perú y de América Latina. Recuperado de <https://rankings.americaeconomia.com/las-500-mayores-empresas-de-peru-2014/ranking-500/las-mayores-empresas-del-peru/siderurgiametalurgia/>
- Berridi, I. (2008). Análisis de la influencia de residuos metalúrgicos como áridos en las propiedades del hormigón. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Boza, M. (2011). Utilización de la escoria de acería como material de construcción. Universidad de Holguín. Cuba.
- Bustamante, I. (2017). Estudio de la correlación entre la relación agua/cemento y la permeabilidad al agua de concretos usuales en Perú. (tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima. Perú.
- Contreras, K. y Villalobos, S. (2017). Análisis de la resistencia a la compresión y permeabilidad en el concreto adicionando dosificaciones de cenizas volantes de carbón en la mezcla (Tesis de titulación). Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú.
- Cruz, R., Franco, D. & Pérez, L. (2014). Reemplazo del Agregado Fino por Escoria de Horno de Cubilote para la Fabricación de Concreto. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.
- Choque, R. (2012). Viabilidad para el uso de la escoria de acería eléctrica como agregado en mezcla asfáltica en la ciudad de Chimbote. (Tesis de Titulación). Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica. Perú.
- Corporación Aceros Arequipa (2016). Reportes de Sostenibilidad (pp. 27). Lima. Perú
- Cuásquer, C. & Altamirano, S. (2015). Evaluación del Uso de escorias de Acero en la producción de Hormigón. (tesis de titulación). Universidad de las Fuerzas Armadas. Sagolquí. Ecuador.

- Decreto Legislativo N° 1278 – MINAM. Decreto legislativo que aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos. Congreso de la República del Perú. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-legislativo-que-aprueba-ley-gestion-integral-residuos-solidos>
- Durand, A. (2017). Influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales, Trujillo 2017 (Tesis de titulación). Universidad Privada del Norte. Trujillo. Perú.
- Etxeberria M, Pacheco C, Meneses JM, Berridi I. (2010). Properties of concrete using metallurgical industrial by-products as aggregates. Construction and Building Materials 2010; 24: 1594-1600.
- EUROSLAG & EUROFER (2012). Position Paper on the Status of ferrous Slag Complying with the Waste Framework Directive (Art 5/6) and the REACH regulation. Duisburg. Alemania.
- Fabricación y procesamiento del Acero (2013). Recuperado de metfusion.wordpress.com/2013/10/14/fabricacion-y-procesamiento-del-acero/
- Fernandez, R. & Navas, A. (2011). Diseño de Mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Infraestructura Vial Vol. 24. Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Recuperado de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/vial/article/view/1982>
- Gamero. B. (2006). Aditivos y adiciones minerales para el concreto (Tesis de titulación). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú.
- Gere, J. (2012). Resistencia de Materiales (5ta ed.). Paraninfo S.A. Madrid. España.
- González, M. (2015). Comportamiento y diseño de hormigones estructurales con áridos siderúrgicos EAF (tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Hermida, G. (2014). Concreto Impermeable. Boletín de Sika ®.
- Hermida, G. (2013). Concreto de baja permeabilidad, algo más que disminuir A/C. Boletín de Sika Colombia ®.
- Hernandez, O., Mendoza, C. (2005). Durabilidad e infraestructura: retos e impacto socioeconómico. División Estudios de Postgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. México.
- Hibbeler, R. (2006). Mecánica de Materiales (6ta ed.). Pearson Educación. México DF. México.
- IHOBE S.A. (2011). Escorias de Acería de Horno de Arco Eléctrico. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Bilbao. España.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (2000). Avances en la Tecnología del Concreto. Recuperado de <http://www.imcyc.com/revista/2000/octubre2000/concreto.htm>

- Karamanian, Ch. (2013). *¿Qué son las construcciones sustentables?* Recuperado de <http://www.sustentator.com/blog-es/2013/03/que-son-las-construcciones-sustentables/>
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (1era ed.). Portland Cement Association – PCA. Illinois. USA.
- Mancio, M. (2001). *Contribuição ao estudo do fenómeno da instabilidade volumétrica das escórias de aciaria elétrica* (Tesis Doctoral). Universidad Federal de Río Grande del Sur. Porto Alegre. Brasil.
- Manso, J. (2001). *Fabricación de hormigón hidráulico con escorias de horno eléctrico de arco* (Tesis Doctoral). Universidad de Burgos. Burgos. España.
- Marquina, M. (2008). *Uso de las escorias obtenidas como sub producto de la elaboración de acero de la planta n°2 de Aceros Arequipa – Pisco para fines de cimentación y pavimentación* (Tesis de grado). Universidad Ricardo Palma. Lima. Perú.
- Mathieu, G. y Sari, J. (1994). *Survey of Water Towers, Reservoirs, Tanks, and Basins: Their Conditions and the Watertightness of the Waterproofing. Durability of Concrete*, Proceedings Third CANMET/ACI International Conference. Niza. Francia.
- Mattio, M. (2014). *La permeabilidad al agua como parámetro para evaluar la durabilidad del hormigón - Parte I*. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba. Argentina.
- National Ready Mixed Concrete Association (S.F). *Prueba de Resistencia a la compresión del concreto*. Recuperado de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP35es.pdf>
- Niño, J. (2010). *Tecnología del Concreto – Tomo 1* (3ra ed.). Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO. Bogotá. Colombia.
- NTP 339.034. (2015). *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas*.
- NTP 339.185. (2013). *Contenido de Humedad de los Agregados*.
- NTP 400.011. (2008). *Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos*.
- NTP 400.012. (2013). *Ensayo de Granulometría, Módulo de Fineza y Tamaño Máximo Nominal de los agregados*.
- NTP 400.017. (2011). *Peso Unitario de los agregados*.
- NTP 400.21. (2013). *Peso específico y Porcentaje de Absorción del agregado Grueso*.
- NTP 400.22. (2013). *Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado fino*.
- Papayianni, I. & Anastasiou, E. (2010). *Production of high-strength concrete using high volume of industrial by-products*. *Construction and Building Materials* 2010; 24: 1412-1417.
- Pellegrino, C. & Gaddo, V. (2009). *Mechanical and durability characteristics of concrete containing EAF slags as aggregate*. *Cement & Concrete Composites* 2009; 31: 663-671.

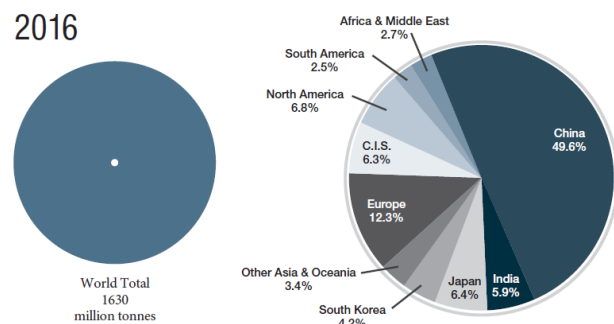
- Pérez, Y. (2015). Estudio de durabilidad del hormigón con áridos siderúrgicos de horno de arco eléctrico (Tesis final de grado). Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- Rivva, E. (2000). Naturaleza y Materiales del Concreto. Capítulo peruano del ACI. Lima.
- Sanjuan, M. y Castro-Borges, P. (2001). Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto. Revista IMCYC. p 1.
- Sanme. (S.F). Línea de producción de escoria de acero. Obtenido de <http://es.sanmecrusher.com/application/slag.html>.
- UNE-EN 12390-8 (2011). Ensayos de Hormigón Endurecido. Parte 8: Profundidad de Penetración de Agua bajo Presión.
- Véles Guayasamín, A. (2013). Hormigones con Escorias de Acero de Horno Eléctrico: Prestaciones Mecánicas, Físicas y Químicas. Cuenca.
- World Steel Association (2017). Steel Statistical Yearbook 2017. Bruselas. Bélgica.
- Waddel, Joseph & Dobrowolski, Joseph. Manual de la construcción con concreto. McGraw-Hill, 1997.
- Zelada, Rolando (2016). Valoración económica de la escoria de horno eléctrico de SIDERPERU como producto alternativo a la piedra cantera en el sector de la construcción (tesis de grado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú

ANEXOS

ANEXO 1: CIFRAS DE LA PRODUCCIÓN DE ACERO EN EL MUNDO Y SUDAMÉRICA

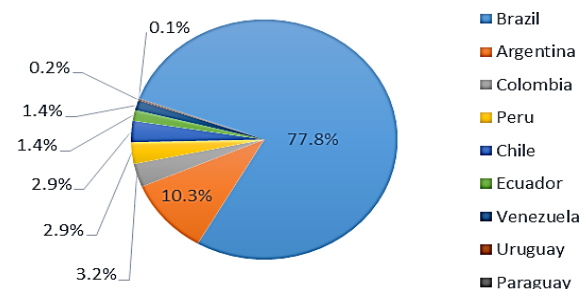
Tabla 89: Producción Mundial de Acero del año 2016

a) Producción total de acero a nivel mundial



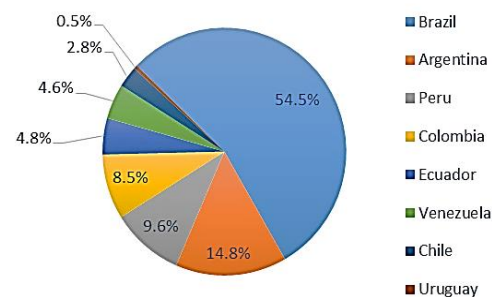
b) Producción total de acero en Sudamérica

Pais	Acero (miles de ton.)
Brazil	31,275
Argentina	4,126
Colombia	1,272
Peru	1,168
Chile	1,153
Ecuador	576
Venezuela	553
Uruguay	61
Paraguay	35



c) Producción total de acero en Sudamérica en hornos de arco eléctrico

Pais	Acero (miles de ton.)
Brazil	6,600
Argentina	1,787
Peru	1,168
Colombia	1,028
Ecuador	576
Venezuela	553
Chile	337
Uruguay	61



Fuente: Steel Statistical Yearbook, Asociación Mundial del Acero (2017)

ANEXO 2: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA ECOGRAVILLA DE ACEROS AREQUIPA.

Figura 37: Composición Química de la Ecogravilla

ACEROS AREQUIPA		INFORME DE ENSAYO DE ANALISIS QUIMICO								Pag. 1/1							
LABORATORIO DE ENSAYO DE CORPORACION AREQUIPA S.A.																	
Razón Social (Nombre Cliente):		CONSTRUCCIÓN Y ADMINISTRACIÓN S.A.															
Representante:		Rodolfo Guerra Torres															
Dirección:		Fundo las Rosas s/n km. 227+500 – San Clemente															
Teléfono:		(056)535957 – Anexo (104)															
Referencia/Contacto:		Luis Huamán Salazar															
Fecha Informe:		16/02/2017															
Informe de Ensayo N°:		LABQUIMI-2017-01															
RESULTADOS:																	
Identificación de la Muestra		Concentración (%)															
		CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	S	FeO	P ₂ O ₅								
Escoria (valores mínimos)		18.3	5.4	9.0	3.2	0.01	0.051	0.4	0.054								
Escoria (valores máximos)		57.2	13.6	37.5	27.2	3.97	2.259	33.1	0.721								
Escoria (valores promedios)		39.8	9.5	23.4	10.6	0.78	0.725	7.6	0.386								
OBSERVACIONES: Análisis típicos de muestra de escoria CAASA.																	
Método de Ensayo:		NORMAS ASTM															
Equipo Usado:		ABSORCIÓN ATÓMICA															
Código Interno del Equipo:		INORGANICO AA-400															
Nombre del Analista:																
Descripción de la muestra:		ESCORIA															
Fecha recepción de la Muestra:																
Fecha de ejecución de Ensayo:																
<p>* Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita de CAASA.</p> <p>* Los resultados de este informe solo son validos para la muestra analizada.</p>																	
<p>Panamericana Sur Km 240-Pisco-Ica-Perú</p> <p style="text-align: right;">Teléfono: 5171800 Anexo 2352-2353-2577</p>																	

**CORPORACIÓN
ACEROS AREQUIPA S.A.**
Punto N° 2 Pisco
Jefe de Laboratorio Químico
Ing. José L. Castilla
JEFE DE LABORATORIO

Fuente: Corporación Aceros Arequipa

ANEXO 3: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 38: Zona de Enfriamiento de la Escora de Ecogravilla



Fuente: Elaboración Propia

Figura 39: Cinta Transportadora de Escoria de Ecogravilla



Fuente: Elaboración Propia

Figura 40: Zona de llenado para Transportar la Escoria de Ecogravilla



Fuente: Elaboración Propia

Figura 41: Zona de Almacenamiento de la Escoria de Ecogravilla



Fuente: Elaboración Propia

Figura 42: Escoria de Ecogravilla en Estado Natural



Fuente: Elaboración Propia

Figura 43: Llenado en sacos del Producto



Fuente: Elaboración Propia

Figura 44: Mezclado de Concreto



Fuente: Elaboración Propia

Figura 45: Agregados para la Elaboración el concreto



Fuente: Elaboración Propia

Figura 46: Ensayo para Determinar la Fluidez del Concreto (Cono de Abrams)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 47: Moldes de Probetas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 48: Curado de Probetas para el Ensayo de Resistencia a la Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Figura 49: Curado de Probetas para el Ensayo de Permeabilidad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 50: Maquina de Ensayo a la Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Figura 51: Ensayo a la Compresión de Probetas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 52: Probetas Ensayadas a la Compresión



Fuente: Elaboración Propia

Figura 53: Probetas para Ensayo de permeabilidad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 54: Enumeración de Probetas para Ensayo de Permeabilidad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 55: Pre Secado de Probetas antes del Ensayo de Permeabilidad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 56: Ensayo de Permeabilidad



Fuente: Elaboración Propia

Figura 57: Medida de Penetración de Agua en Probetas



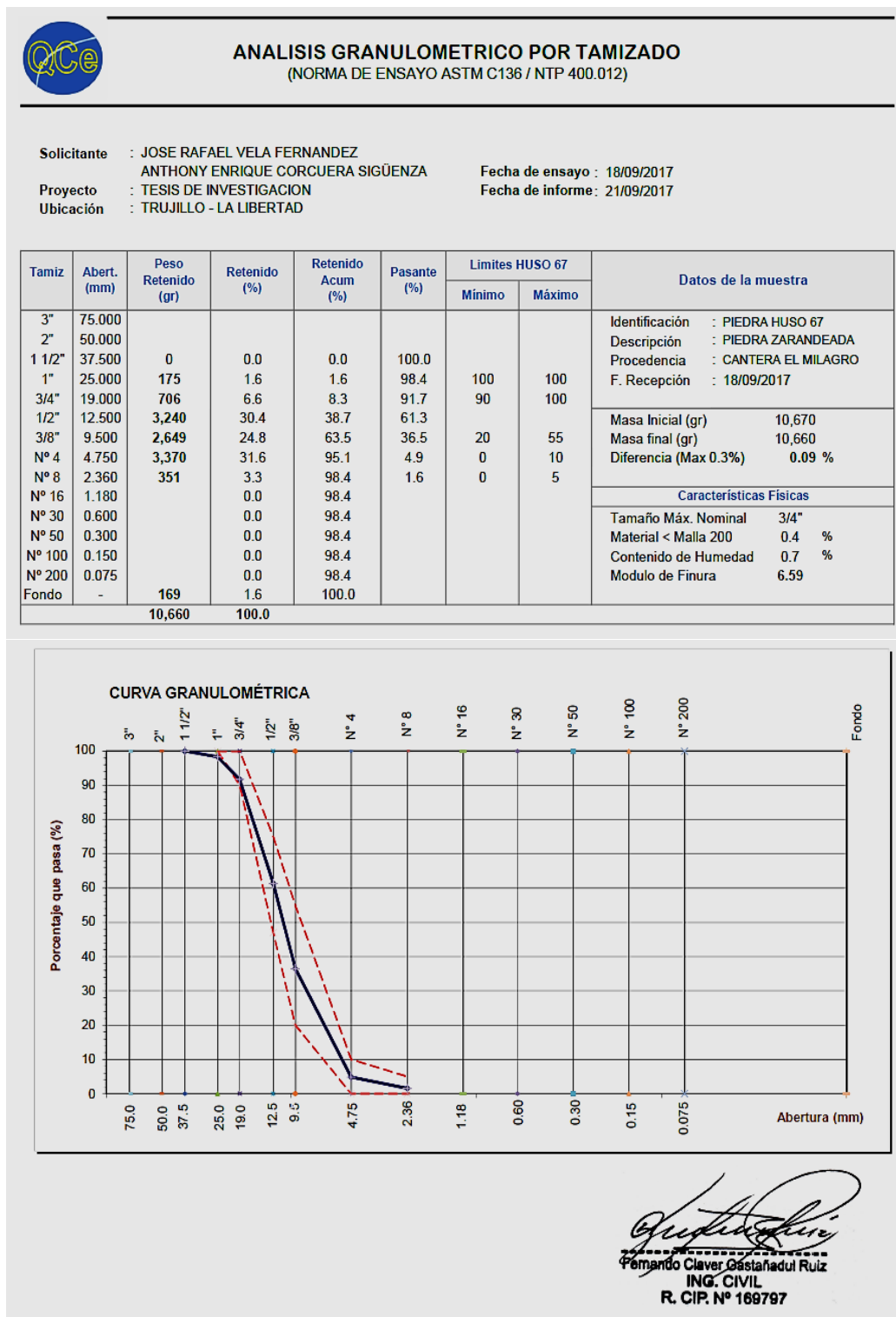
Fuente: Elaboración Propia

Figura 58: Autores y Asesor de la investigación en laboratorio



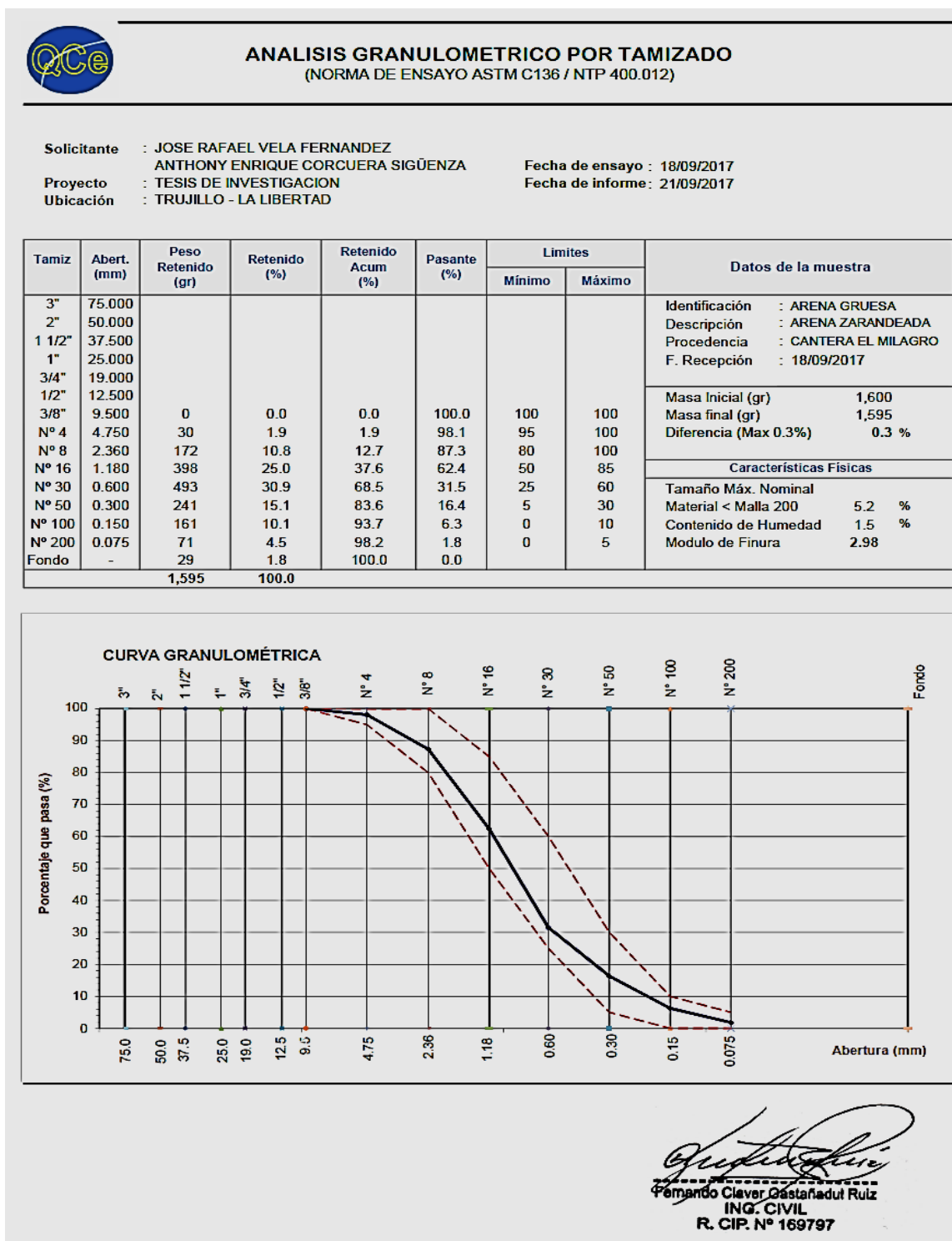
Fuente: Elaboración Propia

Figura 59: Ensayo de Granulometría - Agregado Grueso



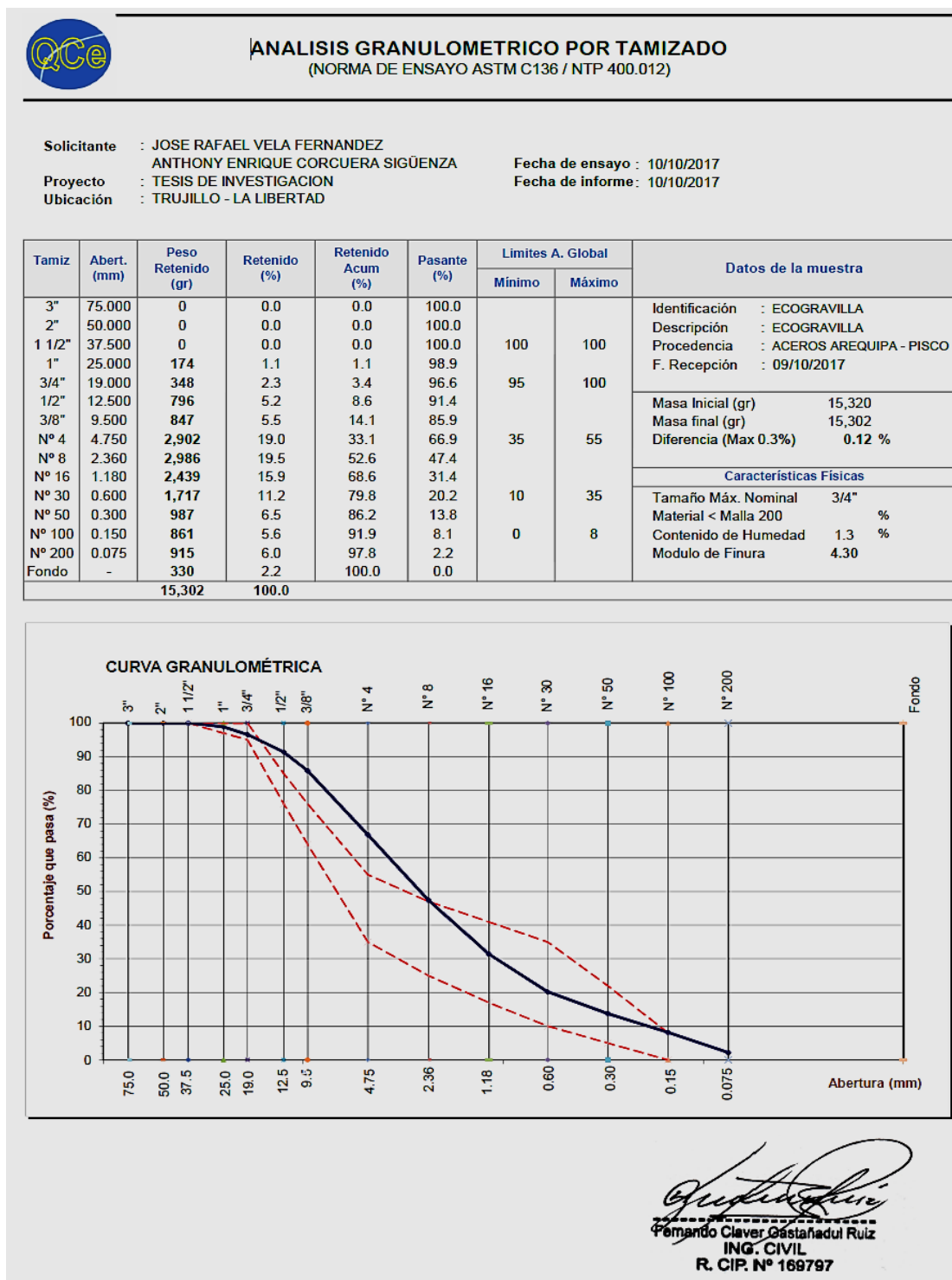
Fuente: Elaboración Propia

Figura 60: Ensayo de Granulometría - Agregado Fino



Fuente: Elaboración Propia

Figura 61: Ensayo de Granulometría - Ecogravilla



Fuente: Elaboración Propia

Figura 62: Ensayo Peso Unitario - Agregado Grueso



QUALITY CONTROL EXPRESSES S.A.C.
 Av. STELL 1913445, 28146, Vista Hermosa - Trujillo
 Av. América Sur N° 4135-146, San Andrés - Trujillo
 01441, 286179 - 281441956

ENSAYO PESO UNITARIO DE AGREGADO

NORMA NTP 400.017 (ASTM C-29)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MUESTRA : AGREGADO GRUESO - CANTERA EL MILAGRO

FECHA : 24/09/2017

2. RESULTADO DE ENSAYO:

Descripción	Test 1	Test 2	Promedio
Peso del recipiente + muestra suelta (kg)	14.185	14.238	
Peso del recipiente + muestra apisonada (kg)	15.314	15.347	
Peso del recipiente (kg)	3.436	3.436	
Peso de la muestra en estado suelto (kg)	10.749	10.802	
Peso de la muestra en estado apisonado (kg)	11.878	11.911	
Volumen del recipiente (m3)	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1,536	1,543	1,540
Peso Unitario Apisonado (kg/m3)	1,697	1,702	1,700



Fernando Clever Olafstadul Ruiz
 ING. CIVIL
 R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 63: Ensayo Peso Unitario - Agregado Fino



QCe
QUALITY CONTROL EXPRESSES S.A.C.
Mz. VILLAS DEL SOL, 2da. Etapa - Villa Hermosa - Trujillo
Av. América Sur N° 4135 Urb. San Andrés - Trujillo
0441 758791 / 981441950

ENSAYO PESO UNITARIO DE AGREGADO NORMA NTP 400.017 (ASTM C-29)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MUESTRA : AGREGADO FINO - CANTERA EL MILAGRO

FECHA : 24/09/2017

2. RESULTADO DE ENSAYO:

Descripción	Test 1	Test 2	Promedio
Peso del recipiente + muestra suelta (kg)	14.735	14.814	
Peso del recipiente + muestra apisonada (kg)	16.052	15.989	
Peso del recipiente (kg)	3.436	3.436	
Peso de la muestra en estado suelto (kg)	11.299	11.378	
Peso de la muestra en estado apisonado (kg)	12.616	12.553	
Volumen del recipiente (m3)	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1,614	1,625	1,620
Peso Unitario Apisonado (kg/m3)	1,802	1,793	1,800



Fernando Claver Olaságuadol Ruiz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 64: Ensayo Peso Unitario – Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G-11, 16 Edif. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo,
 Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo,
 (044) 726191 / 951441959

ENSAYO PESO UNITARIO DE AGREGADO

NORMA NTP 400.017 (ASTM C-29)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MATERIAL : ECOGRAVILLA

FECHA : 13/10/2017

2. RESULTADO DE ENSAYO:


Descripción	1	2	Promedio
Peso del recipiente + muestra suelta (kg)	16.168	15.879	
Peso del recipiente + muestra apisonada (kg)	18.007	17.933	
Peso del recipiente (kg)	3.436	3.436	
Peso de la muestra en estado suelto (kg)	12.732	12.443	
Peso de la muestra en estado apisonado (kg)	14.571	14.497	
Volumen del recipiente (m3)	0.007	0.007	
Peso Unitario Suelto (kg/m3)	1,819	1,778	1,800
Peso Unitario Apisonado (kg/m3)	2,082	2,071	2,080



Fernando Claver Chila
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 65: Ensayo Peso Específico y Absorción - Agregado Grueso



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Ma. O.L. 16 Oplo. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 705879 / 951441959

ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

NORMA NTP 400.021 (ASTM C-127)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA


UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MUESTRA : AGREGADO GRUESO - CANTERA EL MILAGRO

FECHA : 24/09/2017

2. RESULTADO DE ENSAYO:

Descripcion	Test 1	Test 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire (gr)	4925	4898	
Peso de la muestra SSS al aire (gr)	4980	4940	
Peso aparente de la muestra saturada en agua (gr)	3160	3120	
Peso Especifico Base Seca (gr/cm3)	2.71	2.69	2.70
Peso Especifico Base SSS (gr/cm3)	2.74	2.71	2.73
Absorcion (%)	1.1%	0.9%	1.0%


Fernando Claver Ojeda
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 66: Ensayo Peso Específico y Absorción - Agregado Fino



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G11, 15 Dpto. 200 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. America Sur N° 4130 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 705679 / 051441959

ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO

NORMA NTP 400.022 (ASTM C-128)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MUESTRA : AGREGADO FINO - CANTERA EL MILAGRO

FECHA : 24/09/2017

2. RESULTADO DE ENSAYO:

Descripcion	Test 1	Test 2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno (gr)	498	494	
Peso del picnometro llenado con agua (gr)*	682	684	
Peso del picnometro llenado con muestra y agua (gr)*	997	994	
Peso de la muestra SSS (gr)	502	500	
Peso Especifico Base Seca (gr/cm3)	2.66	2.60	2.63
Peso Especifico Base SSS (gr/cm3)	2.68	2.63	2.66
Absorcion (%)	0.8%	1.2%	1.0%

(*) Llenado hasta la marca de calibracion.



Fernando Clever Castañeda Ruiz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 67: Ensayo Peso Específico y Absorción - Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G 11, 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 705879 / 951441969

ENSAYO PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

NORMA NTP 400.021 (ASTM C-127)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MATERIAL : ECOGRAVILLA

FECHA : 13/10/2017


2. RESULTADO DE ENSAYO:

Descripción	1	2	Promedio
Peso de la muestra secada en horno al aire (gr)	4824	4832	
Peso de la muestra SSS al aire (gr)	5050	5050	
Peso aparente de la muestra saturada en agua (gr)	3485	3460	
Peso Especifico Base Seca (gr/cm ³)	3.08	3.04	3.06
Peso Especifico Base SSS (gr/cm ³)	3.23	3.18	3.21
Absorcion (%)	4.7%	4.5%	4.6%


Fernando Claver Castañeda Ruiz
 ING. CIVIL
 R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 68: Ensayo Contenido de Humedad - Agregado Grueso



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G U. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 3053179 / 3051441359

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO

NORMA NTP 339.185 (ASTM C-566)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA


UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MUESTRA : AGREGADO GRUESO - CANTERA EL MILAGRO

FECHA : 20/09/2017


2. RESULTADO DE ENSAYO:

Descripción	Valor
Peso del recipiente (gr)	320
Peso del recipiente + material humedo (gr)	5,320
Peso del recipiente + material seco (gr)	5,285
Peso del material humedo (gr)	5,000
Peso del material seco (gr)	4,965
Peso de agua contenida (gr)	35
Contenido de humedad (%)	0.7%


Fernando Claver Gastanadul Ruiz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 69: Ensayo Contenido de Humedad - Agregado Fino



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
Mz. G Lt. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
(044) 2053791 / 951441859

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO

NORMA NTP 339.185 (ASTM C-566)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA


UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MUESTRA : AGREGADO FINO - CANTERA EL MILAGRO

FECHA : 20/09/2017

2. RESULTADO DE ENSAYO:


Descripción	Valor
Peso del recipiente (gr)	118
Peso del recipiente + material humedo (gr)	518
Peso del recipiente + material seco (gr)	512
Peso del material humedo (gr)	400
Peso del material seco (gr)	394
Peso de agua contenida (gr)	6
Contenido de humedad (%)	1.5%



Fernando Claver Casteñeda Ruiz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 70: Ensayo Contenido de Humedad - Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G Lt. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 706679 / 951441569

ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO

NORMA NTP 339.185 (ASTM C-566)

1. INFORMACION GENERAL

SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA


UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

MATERIAL : ECOGRAVILLA

FECHA : 13/10/2017

2. RESULTADO DE ENSAYO:


Descripción	Valor
Peso del recipiente (gr)	315
Peso del recipiente + material humedo (gr)	5,315
Peso del recipiente + material seco (gr)	5,250
Peso del material humedo (gr)	5,000
Peso del material seco (gr)	4,935
Peso de agua contenida (gr)	65
Contenido de humedad (%)	1.3%



Fernando Clever Gastañadui Ruiz
 ING. CIVIL
 R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 71: Ensayos de Concreto Fresco

<div>  ENSAYOS DE CONCRETO FRESCO </div>							
SOLICITANTE : JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA							
PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION -CONCRETO CON ECOGRAVILLA							
FECHA : 24-10-2017							
Codigo Muestra	Fecha Muestreo	Hora Muestreo	Temp ¹ (°C)	Slump ² (pulg)	Aire ³ (%)	PUC ⁴ (kg/m ³)	Observacion
PATRON - ICo	16/10/17	10:14	21.5	6.25	1.6	2358	
PATRON - V	16/10/17	11:10	22.5	6.25	1.3	2372	
ICo + 20% ECOGRAVILLA	21/10/17	9:27	21.0	3.50	1.6	2386	
ICo + 35% ECOGRAVILLA	21/10/17	10:49	22.5	3.00	2.0	2381	
ICo + 50% ECOGRAVILLA	21/10/17	12:00	26.0	3.00	2.2	2402	
ICo + 65% ECOGRAVILLA	23/10/17	9:55	20.5	2.00	2.8	2398	
V + 20% ECOGRAVILLA	23/10/17	11:00	21.0	6.00	1.7	2395	
V + 35% ECOGRAVILLA	23/10/17	12:05	23.0	5.50	2.2	2392	
V + 50% ECOGRAVILLA	23/10/17	15:17	24.0	4.75	2.5	2418	
V + 65% ECOGRAVILLA	23/10/17	16:22	22.5	2.50	2.8	2398	

PUC: Peso unitario del concreto.


NORMAS APLICADAS

[1] NTP 339.184-2012 (ASTM C1064-12): Metodo de ensayo para determinar la temperatura del concreto

[2] NTP 339.035-2009 (ASTM C143-08): Metodo de ensayo para determinar el asentamiento del concreto


[3] NTP 339.080-2011 (ASTM C231-10): Metodo de ensayo para determinar el contenido de aire del concreto - metodo de presion

[4] NTP 339.046-2008 (ASTM C138-08): Metodo de ensayo para determinar el peso unitario del concreto


Fernando Claver Castañeda Ruiz
ING. CIVIL
R. CIR. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 72: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto Patrón c/cemento tipo ICO



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mr. Calle 10 Ejido 2581A1 - Vía a Huanuco - Trujillo
 Av. América Sur N° 4132 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 098.01795144/999

INFORME DE ENSAYO N° 264-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 13/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO PATRON C/CMTO TIPO ICO

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f _c (kg/cm ²)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Díámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CPICO-01	210	16/10/2017	23/10/2017	7	10.1	80.12	11457	143	68%	2
CPICO-02	210	16/10/2017	23/10/2017	7	10.1	80.12	11778	147	70%	3
CPICO-03	210	16/10/2017	23/10/2017	7	10.1	80.12	11137	139	66%	2
Promedio								143	68%	
CPICO-04	210	16/10/2017	6/11/2017	21	10.1	80.12	14021	175	83%	2
CPICO-05	210	16/10/2017	6/11/2017	21	10.1	80.12	13620	170	81%	1
CPICO-06	210	16/10/2017	6/11/2017	21	10.1	80.12	14341	179	83%	4
Promedio								175	83%	
CPICO-07	210	16/10/2017	13/11/2017	28	10.1	80.12	16305	206	98%	1
CPICO-08	210	16/10/2017	13/11/2017	28	10.1	80.12	16264	203	97%	2
CPICO-09	210	16/10/2017	13/11/2017	28	10.1	80.12	15864	198	94%	1
Promedio								202	96%	

NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f_c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39.
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231.
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39.


Fernando Claver Ochoa
 ING. CIVIL
 R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 73: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo ICO + 20% de Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
Mz. G.L.I. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
Av. America Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
(044) 705879 / 951441959

INFORME DE ENSAYO N° 274-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 18/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO C/CMTO TIPO ICO + 20% ECOGRAVILLA

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	F _c (kg/cm ²)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
ICOE20-01	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	12691	158	75%	1
ICOE20-02	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	12529	156	74%	1
ICOE20-03	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	12390	155	74%	2
Promedio								156	74%	
ICOE20-04	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	14934	186	89%	2
ICOE20-05	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	13851	173	82%	3
ICOE20-06	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	15987	200	95%	3
Promedio								186	89%	
ICOE20-07	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	16535	206	98%	2
ICOE20-08	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	17230	215	102%	1
ICOE20-09	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	16752	209	100%	2
Promedio								210	100%	


NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f_c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39.
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231.
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39.


Fernando Claver Gastañadut Ruiz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 74: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo ICO + 35% de Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G L I. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 705879 / 951441959

INFORME DE ENSAYO N° 275-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 18/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO C/CMTO TIPO ICO + 35% ECOGRAVILLA

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f _c (kg/cm ²)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Díámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
ICOE35-01	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	13174	164	78%	2
ICOE35-02	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	12672	158	75%	2
ICOE35-03	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	13695	171	81%	3
Promedio								164	78%	
ICOE35-04	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	16415	205	98%	1
ICOE35-05	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	16353	204	97%	3
ICOE35-06	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	16325	204	97%	3
Promedio								204	97%	
ICOE35-07	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	17311	216	103%	1
ICOE35-08	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	17941	224	107%	2
ICOE35-09	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	18251	228	109%	2
Promedio								223	106%	

NOTAS:


- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f_c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Fernando Claver Castañeda Ruiz
 ING. CIVIL
 R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 75: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo ICO + 50% de Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G L.L. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. Americas Sur N° 4138 Urb. San Andres - Trujillo
 (041) 705879 / 951441969

INFORME DE ENSAYO N° 276-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emision: 18/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO C/CMTO TIPO ICO + 50% ECOGRAVILLA

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificacion Testigo	F _c (kg/cm ²)	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm ²)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
ICOE50-01	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	13312	166	79%	3
ICOE50-02	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	13206	165	79%	3
ICOE50-03	210	21/10/2017	28/10/2017	7	10.1	80.12	13047	163	78%	2
Promedio								165	79%	
ICOE50-04	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	15737	196	93%	3
ICOE50-05	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	15602	195	93%	2
ICOE50-06	210	21/10/2017	11/11/2017	21	10.1	80.12	16216	202	96%	2
Promedio								198	94%	
ICOE50-07	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	18098	226	108%	2
ICOE50-08	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	17545	219	104%	2
ICOE50-09	210	21/10/2017	18/11/2017	28	10.1	80.12	18607	232	110%	1
Promedio								226	108%	


NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f_c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39


Fernando Claver Gastañadut Ruiz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 76: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo ICO + 65% de Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G.I.I. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 703679 / 951441959

INFORME DE ENSAYO N° 277-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 20/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO C/CMTO TIPO ICO + 65% ECOGRAVILLA

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	Fc (kg/cm ²)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
ICOE65-01	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	12860	161	77%	4
ICOE65-02	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	11492	143	68%	2
ICOE65-03	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	11482	143	68%	3
Promedio								149	71%	
ICOE65-04	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	15253	190	90%	2
ICOE65-05	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	14395	180	86%	1
ICOE65-06	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	14266	178	85%	1
Promedio								183	87%	
ICOE65-07	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	15848	198	94%	3
ICOE65-08	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	15962	199	95%	2
ICOE65-09	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	15112	189	90%	2
Promedio								195	93%	

NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f_c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Fernando Claver Gastañadut Ruiz
 ING. CIVIL
 R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 77: Ensayo Resistencia a la Compresión - Concreto Patrón c/cemento tipo V



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
Mz. G L1. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
(041) 705879 / 951441959

INFORME DE ENSAYO N° 265-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 13/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO PATRON C/CMTO TIPO V

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f _c (kg/cm ²)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Dímetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
CPV-01	210	16/10/2017	23/10/2017	7	10.1	80.12	15148	189	90%	2
CPV-02	210	16/10/2017	23/10/2017	7	10.1	80.12	15020	187	89%	2
CPV-03	210	16/10/2017	23/10/2017	7	10.1	80.12	15827	198	94%	3
Promedio								191	91%	
CPV-04	210	16/10/2017	6/11/2017	21	10.1	80.12	20545	256	122%	2
CPV-05	210	16/10/2017	6/11/2017	21	10.1	80.12	19464	243	116%	3
CPV-06	210	16/10/2017	6/11/2017	21	10.1	80.12	20414	255	121%	4
Promedio								251	120%	
CPV-07	210	16/10/2017	13/11/2017	28	10.1	80.12	21792	272	130%	3
CPV-08	210	16/10/2017	13/11/2017	28	10.1	80.12	21387	267	127%	1
CPV-09	210	16/10/2017	13/11/2017	28	10.1	80.12	20686	258	123%	1
Promedio								266	127%	


NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f_c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39.
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231.
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39.


FERNANDO CLAVER
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 78: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo V + 20% de Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mz. G.L. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. America Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 705879 / 951441959

INFORME DE ENSAYO N° 278-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 20/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO C/CMTO TIPO V + 20% ECOGRAVILLA

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f _c (kg/cm ²)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Díametro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm ²)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
VE20-01	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	16459	205	98%	1
VE20-02	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	16944	211	100%	3
VE20-03	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	16208	202	96%	1
Promedio								206	98%	
VE20-04	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	20941	261	124%	3
VE20-05	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	21579	269	128%	2
VE20-06	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	21013	262	125%	2
Promedio								264	126%	
VE20-07	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	21021	262	125%	2
VE20-08	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	22931	286	136%	1
VE20-09	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	22563	282	134%	2
Promedio								277	132%	


NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f_c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39.
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231.
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39.


Fernando Claver
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 79: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo V + 35% de Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mr. Q.L.L. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. Americas Sur N° 4138 Urb. San Andres - Trujillo
 (044) / 058797951441859

INFORME DE ENSAYO N° 279-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 20/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO C/CMTO TIPO V + 35% ECOGRAVILLA

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f _c (kg/cm ²)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm ²)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm ²)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
VE35-01	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	19993	250	119%	2
VE35-02	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	18127	226	108%	3
VE35-03	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	18123	226	108%	2
Promedio								234	111%	
VE35-04	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	23369	292	139%	2
VE35-05	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	23856	298	142%	2
VE35-06	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	23641	295	140%	4
Promedio								295	140%	
VE35-07	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	24409	305	145%	1
VE35-08	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	23912	298	142%	3
VE35-09	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	24790	309	147%	2
Promedio								304	145%	


NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f_c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39.
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231.
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39.


Fernando Cuervo
ING. CIVIL
R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 80: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo V + 50% de Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mr. G.L. 1G Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. America Sur N° 4138 Urb. San Andrés - Trujillo
 (044) 705879 / 951441959

INFORME DE ENSAYO N° 280-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 20/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO C/CMTO TIPO V + 50% ECOGRAVILLA

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm2)	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Díametro (cm)	Área (cm2)	Carga Máxima (kg)	Resistencia Compresión (kg/cm2)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
VE50-01	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	20226	252	120%	2
VE50-02	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	20965	262	125%	2
VE50-03	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	20003	250	119%	1
Promedio								255	121%	
VE50-04	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	25487	318	151%	3
VE50-05	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	26366	329	157%	2
VE50-06	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	26158	326	155%	2
Promedio								324	154%	
VE50-07	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	26754	334	159%	1
VE50-08	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	27306	341	162%	2
VE50-09	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	26252	328	156%	4
Promedio								334	159%	


NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39.
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231.
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39.


Fernando Claver Gastañadui Ruiz
 ING. CIVIL
 R. CIP. N° 169797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 81: Ensayo de la Resistencia a la Compresión - Concreto c/cemento tipo V + 65% de Ecogravilla



QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
 Mr. G.I.I. 16 Dpto. 208 Urb. Vista Hermosa - Trujillo
 Av. America Sur N° 4138 Urb. San Andres - Trujillo
 (044) 705879 / 951441859

INFORME DE ENSAYO N° 281-2017-QCE/TRJ

Fecha de Emision: 20/11/2017

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE	JOSE RAFAEL VELA FERNANDEZ / ANTHONY ENRIQUE CORCUERA SIGÜENZA
PROYECTO	TESIS DE INVESTIGACION CONCRETO CON ECOGRAVILLA
UBICACIÓN	TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD
MUESTRA	CONCRETO C/CMTO TIPO V + 65% ECOGRAVILLA

2. TIPO DE ENSAYO:


RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm2)	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm2)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
VE65-01	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	14010	175	83%	2
VE65-02	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	13402	167	80%	4
VE65-03	210	23/10/2017	30/10/2017	7	10.1	80.12	15467	193	92%	2
Promedio								178	85%	
VE65-04	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	18403	230	110%	2
VE65-05	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	19055	238	113%	2
VE65-06	210	23/10/2017	13/11/2017	21	10.1	80.12	20650	258	123%	1
Promedio								242	115%	
VE65-07	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	20238	253	120%	3
VE65-08	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	21194	265	126%	2
VE65-09	210	23/10/2017	20/11/2017	28	10.1	80.12	20830	260	124%	2
Promedio								259	123%	


NOTAS:

- El muestreo, elaboración de testigos y curado, han sido ejecutados por QCE.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-116-2016, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39.
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231.
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39.


Fernando Claver Castañeda Ruiz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 168797

Fuente: Elaboración Propia

Figura 82: Ensayo de Penetración del Agua en concretos con cemento tipo ICO



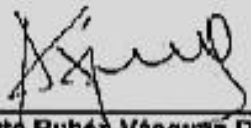
BUILDING TRUST
ENSAYO DE PENETRACIÓN DE AGUA BAJO PRESIÓN
NORMA UNE-EN 12390-8

1. INFORMACIÓN GENERAL

- SOLICITANTES** : José Rafael Vela Fernández / Anthony Enrique Corcuera Sigüenza
- PROYECTO** : Tesis de Investigación Concreto con Ecogravilla
- UBICACIÓN** : Trujillo - Trujillo - La Libertad
- MUESTRAS** : Probetas c/cemento tipo ICO - Patrón y con Ecogravilla

2. RESULTADOS DEL ENSAYO

%Ecogravilla x Piedra	Muestra	Max. Profundidad Media (mm)	Max Prof. Media Promedio (mm)
PATRÓN	M-1	45	42.5
	M-2	40	
20%	M-3	36	35
	M-4	34	
35%	M-5	35	32.5
	M-6	30	
50%	M-7	29	28.5
	M-8	28	
65%	M-9	40	40
	M-10	40	



Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz
Jefe de Ventas - Región Norte
Sika Perú SAC


Fuente: Elaboración Propia

Figura 83: Ensayo de Penetración del Agua en concretos con cemento tipo V



Fuente: Elaboración Propia

Figura 84: Certificado de conformidad del Laboratorio de Materiales QCe



Carta N° 026-2017-QCE-TRJ
Fecha de emisión: 30/11/2017

Sr.:
Ing. Alberto Vásquez Díaz
Universidad Privada del Norte
Trujillo

Asunto : Elaboración de mezclas de prueba y ensayos.
Referencia : Proyecto de Tesis - Concreto con Ecogravilla.

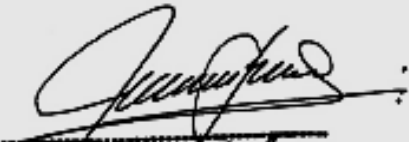
De nuestra mayor consideración;

Es grato dirigirme a usted para saludarle muy cordialmente, y seguidamente hacer de su conocimiento que los señores José Rafael Vela Fernández y Anthony Enrique Corcuera Sigüenza, estudiantes de la carrera profesional de Ingeniería Civil de su distinguida representada, han participado en la elaboración de mezclas de prueba de concreto y sus respectivos ensayos en estado fresco y endurecido, en nuestras instalaciones y bajo la supervisión y apoyo permanente de nuestro personal técnico, entre los días 16/10/2017 y 20/11/2017.

Es pertinente indicar además que los resultados de dichos ensayos han sido directamente registrados y administrados por los mencionados estudiantes.

Sin otro particular quedamos de usted,

Atentamente,


Alfonso Vega Farfan
GERENTE GENERAL
QUALITY CONTROL EXPRESS SAC

Fuente: Elaboración Propia

Figura 85: Certificado del Laboratorio de Ensayo de Materiales de SIKAPERÚ S.A.C.



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 4: GUÍAS DE OBSERVACIÓN

Figura 86: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 7 días de curado (cemento tipo ICO)

GUÍA DE OBSERVACIÓN Nº 01...					
AUTORES:	ANTHONY CORCUERA SIGÜENZA Y JOSE VELA FERNANDEZ				
LUGAR:	LABORATORIO QCC S.A.C				
ENSAYO:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
EQUIPO:	MÁQUINA DE COMPRESIÓN AXIAL				
TIPO DE CEMENTO:	CEMENTO TIPO ICO				
PROBETAS A 7 DÍAS DE CURADO					
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN DE PROBETA	FECHA DE ENSAYO	ESFUERZO (Kg/cm ²)	TIPO DE FALLA
PATRON	CPICO-01	16/10/17	23/10/17	143.00	2
	CPICO-02	16/10/17	23/10/17	147.00	3
	CPICO-03	16/10/17	23/10/17	139.00	2
	PROMEDIO:			143.00	
20%	ICOE20-01	21/10/17	28/10/17	158.00	1
	ICOE20-02	21/10/17	28/10/17	156.00	1
	ICOE20-03	21/10/17	28/10/17	155.00	2
	PROMEDIO:			156.00	
35%	ICOE35-01	21/10/17	28/10/17	164.00	2
	ICOE35-02	21/10/17	28/10/17	158.00	2
	ICOE35-03	21/10/17	28/10/17	171.00	3
	PROMEDIO:			164.00	
50%	ICOE50-01	21/10/17	28/10/17	166.00	3
	ICOE50-02	21/10/17	28/10/17	165.00	3
	ICOE50-03	21/10/17	28/10/17	163.00	2
	PROMEDIO:			165.00	
65%	ICOE65-01	23/10/17	30/10/17	161.00	4
	ICOE65-02	23/10/17	30/10/17	143.00	2
	ICOE65-03	23/10/17	30/10/17	143.00	3
	PROMEDIO:			149.00	

[Firma]

Fuente: Elaboración Propia

Figura 87: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 21 días de curado (cemento tipo ICO)

GUÍA DE OBSERVACIÓN Nº 02					
AUTORES:	ANTHONY CORCUERA SIGÜENZA Y JOSE VELA FERNANDEZ				
LUGAR:	LABORATORIO QCE. S.A.C.				
ENSAYO:	RESISTENCIA A LA COMPRESION				
EQUIPO:	MÁQUINA DE COMPRESION AXIAL				
TIPO DE CEMENTO:	CEMENTO TIPO ICO				
PROBETAS A 21 DÍAS DE CURADO					
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN DE PROBETA	FECHA DE ENSAYO	ESFUERZO (Kg/cm²)	TIPO DE FALLA
Patrón	CPICO-04	16/10/17	06/11/17	175.00	2
	CPICO-05	16/10/17	06/11/17	170.00	1
	CPICO-06	16/10/17	06/11/17	179.00	4
	PROMEDIO:			175.00	
20%	ICOE20-04	21/10/17	11/11/17	186.00	2
	ICOE20-05	21/10/17	11/11/17	173.00	3
	ICOE20-06	21/10/17	11/11/17	200.00	3
	PROMEDIO:			185.00	
35%	ICOE35-04	21/10/17	11/11/17	205.00	1
	ICOE35-05	21/10/17	11/11/17	204.00	3
	ICOE35-06	21/10/17	11/11/17	204.00	3
	PROMEDIO:			204.00	
50%	ICOE50-04	21/10/17	11/11/17	196.00	3
	ICOE50-05	21/10/17	11/11/17	195.00	2
	ICOE50-06	21/10/17	11/11/17	202.00	2
	PROMEDIO:			198.00	
65%	ICOE65-04	23/10/17	13/11/17	190.00	2
	ICOE65-05	23/10/17	13/11/17	180.00	1
	ICOE65-06	23/10/17	13/11/17	178.00	1
	PROMEDIO:			183.00	

[Firma]

Fuente: Elaboración Propia

Figura 88: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 28 días de curado (cemento tipo ICO)

GUÍA DE OBSERVACIÓN Nº 03.					
AUTORES:	ANTHONY CORCUERA SIGÜENZA Y JOSE VELA FERNANDEZ				
LUGAR:	LABORATORIO QCE S.A.C.				
ENSAYO:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
EQUIPO:	MÁQUINA DE COMPRESIÓN AXIAL				
TIPO DE CEMENTO:	CEMENTO TIPO ICO				
PROBETAS A 28 DÍAS DE CURADO					
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN DE PROBETA	FECHA DE ENSAYO	ESFUERZO (Kg/cm²)	TIPO DE FALLA
Patrón	CPIC0-07	16 / 10 / 17	13 / 11 / 17	206.00	1
	CPIC0-08	16 / 10 / 17	13 / 11 / 17	203.00	2
	CPIC0-09	16 / 10 / 17	13 / 11 / 17	198.00	1
			PROMEDIO:	202.00	
20 %	ICOE20-07	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	206.00	2
	ICOE20-08	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	215.00	1
	ICOE20-09	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	209.00	1
			PROMEDIO:	210.00	
35 %	ICOE35-07	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	216.00	1
	ICOE35-08	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	224.00	2
	ICOE35-09	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	228.00	2
			PROMEDIO:	223.00	
50 %	ICOE50-07	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	226.00	2
	ICOE50-08	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	219.00	2
	ICOE50-09	21 / 10 / 17	18 / 11 / 17	232.00	1
			PROMEDIO:	226.00	
65 %	ICOE65-07	23 / 10 / 17	20 / 11 / 17	198.00	3
	ICOE65-08	23 / 10 / 17	20 / 11 / 17	199.00	2
	ICOE65-09	23 / 10 / 17	20 / 11 / 17	189.00	2
			PROMEDIO:	195.00	

19/11

Fuente: Elaboración Propia

Figura 89: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 7 días de curado (cemento tipo V)


GUÍA DE OBSERVACIÓN Nº 004					
AUTORES:	ANTHONY CORCUERA SIGÜENZA y JOSE VELA FERNANDEZ				
LUGAR:	LABORATORIO BCE S.A.C				
ENSAYO:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
EQUIPO:	MÁQUINA DE COMPRESIÓN AXIAL				
TIPO DE CEMENTO:	CEMENTO TIPO V				
PROBETAS A 3... DÍAS DE CURADO					
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN DE PROBETA	FECHA DE ENSAYO	ESFUERZO (Kg/cm²)	TIPO DE FALLA
PATRÓN	CPV-01	16/10/17	23/10/17	189.00	2
	CPV-02	16/10/17	23/10/17	187.00	2
	CPV-03	16/10/17	23/10/17	198.00	3
			PROMEDIO:	191.00	
20 %	VE20-01	23/10/17	30/10/17	205.00	1
	VE20-02	23/10/17	30/10/17	211.00	3
	VE20-03	23/10/17	30/10/17	202.00	1
			PROMEDIO:	206.00	
35 %	VE35-01	23/10/17	30/10/17	250.00	2
	VE35-02	23/10/17	30/10/17	226.00	3
	VE35-03	23/10/17	30/10/17	226.00	2
			PROMEDIO:	234.00	
50 %	VE50-01	23/10/17	30/10/17	252.00	2
	VE50-02	23/10/17	30/10/17	262.00	2
	VE50-03	23/10/17	30/10/17	250.00	1
			PROMEDIO:	255.00	
65 %	VE65-01	23/10/17	30/10/17	195.00	2
	VE65-02	23/10/17	30/10/17	167.00	4
	VE65-03	23/10/17	30/10/17	193.00	2
			PROMEDIO:	198.00	

Abund

Fuente: Elaboración Propia

Figura 90: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 21 días de curado (cemento tipo V)

GUÍA DE OBSERVACIÓN Nº 05					
AUTORES:	ANTHONY CORCUERA SIGÜENZA Y JOSE VELA FERNANDEZ				
LUGAR:	LABORATORIO DCE S.A.C				
ENSAYO:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
EQUIPO:	MÁQUINA DE COMPRESION AXIAL				
TIPO DE CEMENTO:	CEMENTO TIPO V				
PROBETAS A 21 DÍAS DE CURADO					
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN DE PROBETA	FECHA DE ENSAYO	ESFUERZO (Kg/cm²)	TIPO DE FALLA
PATRÓN	CPV-04	16/10/17	06/11/17	256.00	2
	CPV-05	16/10/17	06/11/17	243.00	3
	CPV-06	16/10/17	06/11/17	255.00	4
			PROMEDIO:	251.00	
20%	VE20-04	23/10/17	13/11/17	261.00	3
	VE20-05	23/10/17	13/11/17	269.00	2
	VE20-06	23/10/17	13/11/17	262.00	2
			PROMEDIO:	264.00	
35%	VE35-04	23/10/17	13/11/17	292.00	2
	VE35-05	23/10/17	13/11/17	298.00	2
	VE35-06	23/10/17	13/11/17	295.00	4
			PROMEDIO:	295.00	
50%	VE50-04	23/10/17	13/11/17	318.00	3
	VE50-05	23/10/17	13/11/17	329.00	2
	VE50-06	23/10/17	13/11/17	326.00	2
			PROMEDIO:	324.00	
65%	VE65-04	23/10/17	13/11/17	230.00	2
	VE65-05	23/10/17	13/11/17	238.00	2
	VE65-06	23/10/17	13/11/17	258.00	1
			PROMEDIO:	242.00	



Fuente: Elaboración Propia

Figura 91: Guía de Observación para el ensayo de Resistencia a la compresión a los 28 días de curado (cemento tipo V)

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 06					
AUTORES:	ANTHONY CORCUERA SIGÜENZA y JOSE VELA FERNANDEZ				
LUGAR:	LABORATORIO QCE S.A.C				
ENSAYO:	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN				
EQUIPO:	MÁQUINA DE COMPRESIÓN AXIAL				
TIPO DE CEMENTO:	CEMENTO TIPO V				
PROBETAS A 28 DÍAS DE CURADO					
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN DE PROBETA	FECHA DE ENSAYO	ESFUERZO (Kg/cm²)	TIPO DE FALLA
PATRÓN	CPV-07	16/10/17	13/11/17	272.00	3
	CPV-08	16/10/17	13/11/17	267.00	1
	CPV-09	16/10/17	13/11/17	258.00	1
	PROMEDIO:			266.00	
20%	VE20-07	23/10/17	20/11/17	262.00	2
	VE20-08	23/10/17	20/11/17	286.00	1
	VE20-09	23/10/17	20/11/17	282.00	2
	PROMEDIO:			277.00	
35%	VE35-07	23/10/17	20/11/17	305.00	1
	VE35-08	23/10/17	20/11/17	298.00	3
	VE35-09	23/10/17	20/11/17	309.00	2
	PROMEDIO:			304.00	
50%	VE50-07	23/10/17	20/11/17	334.00	1
	VE50-08	23/10/17	20/11/17	341.00	2
	VE50-09	23/10/17	20/11/17	328.00	4
	PROMEDIO:			334.00	
65%	VE65-07	23/10/17	20/11/17	253.00	3
	VE65-08	23/10/17	20/11/17	265.00	2
	VE65-09	23/10/17	20/11/17	260.00	2
	PROMEDIO:			259.00	

Handwritten signature

Fuente: Elaboración Propia

Figura 92: Guía de Observación para el ensayo de Permeabilidad (cemento tipo ICO)

GUÍA DE OBSERVACIÓN N° 02				
AUTORES:	ANTHONY CORCUERA SIGÜENZA Y JOSE VELA FERNANDEZ			
LUGAR:	LABORATORIO SIKA			
EQUIPO:	MANÓMETRO			
ENSAYO:	PENETRACIÓN DE AGUA			
TIPO DE CEMENTO:	CEMENTO TIPO ICO			
PROBETAS A 28 DÍAS DE CURADO				
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN DE PROBETA	FECHA DE ENSAYO	PENETRACIÓN DE AGUA (mm)
Patrón	M-1	02/12/17	20/02/18	45
	M-2	02/12/17	20/02/18	40
			PROMEDIO:	42.5
20%	M-3	03/12/17	20/02/18	36
	M-4	03/12/17	20/02/18	34
			PROMEDIO:	35
35%	M-5	03/12/17	20/02/18	35
	M-6	03/12/17	20/02/18	30
			PROMEDIO:	32.5
50%	M-7	03/12/17	26/02/18	29
	M-8	03/12/17	26/02/18	28
			PROMEDIO:	28.5
65%	M-9	03/12/17	26/02/18	40
	M-10	03/12/17	26/02/18	40
			PROMEDIO:	40

[Firma]

Fuente: Elaboración Propia

Figura 93: Guía de Observación para el ensayo de Permeabilidad (cemento tipo V)

GUÍA DE OBSERVACIÓN Nº 08				
AUTORES:	ANTHONY CORCUERA SIGÜENZA y JOSE VELA FERNANDEZ			
LUGAR:	LABORATORIO SIKI			
EQUIPO:	MANÓMETRO			
ENSAYO:	PENETRACIÓN DE AGUA			
TIPO DE CEMENTO:	CEMENTO TIPO V			
PROBETAS A 28 DÍAS DE CURADO				
% DE ECOGRAVILLA	NOMBRE PROBETA	FECHA DE ELABORACIÓN DE PROBETA	FECHA DE ENSAYO	PENETRACIÓN DE AGUA (mm)
PATEÓN	M-1	02/12/17	26/02/18	37
	M-2	02/12/17	26/02/18	32
			PROMEDIO:	34.5
20%	M-3	02/12/17	02/03/18	28
	M-4	02/12/17	02/03/18	30
			PROMEDIO:	29
35%	M-5	02/12/17	02/03/18	29
	M-6	02/12/17	02/03/18	27
			PROMEDIO:	28
50%	M-7	02/12/17	02/03/18	21
	M-8	02/12/17	02/03/18	20
			PROMEDIO:	20.5
65%	M-9	02/12/17	02/03/18	22
	M-10	02/12/17	02/03/18	23
			PROMEDIO:	22.5

ASG

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 5: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE LABORATORIO UTILIZADOS

Figura 94: Certificado de Calibración de Máquina de Compresión

 **CELDA EIRL**

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CMC-116-2016**

Peticionario	: QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
Atención	: QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.
Lugar de calibración	: Av. América Sur N° 4138 Urb. San Andres - Trujillo.
Tipo de equipo	: Máquina de compresión axial eléctrico-hidráulica digital
Capacidad del equipo	: 2.000 kN
División de escala	: 1 kgf.
Marca	: ALFA
Modelo	: B-001/LCD/2
N° de serie del equipo	: 050220/21
Panel digital	: DIGITAL ALFA
Número serie panel digital	: 050220/21
Código	: No Indica.
Procedencia	: Turquía.
Método de calibración	: ASTM E-4 "Standard Practices for Force Verification of Testing machines"
Temp.(°C) y H.R.(%) inicial	: 25,9°C / 59%
Temp.(°C) y H.R.(%) final	: 26,3°C / 57%
Patrón de referencia	: Trazabilidad NIST (United States National Institute of Standards & Technology), patrón utilizado Morehouse, N° de serie C-8517, clase A, calibrado de acuerdo a la norma ASTM E74-13a, certificado de calibración reporte N° C-8517B0416
Número de páginas	: 2.
Fecha de calibración	: 2016-10-21

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido sin modificaciones y en su totalidad.
Las modificaciones y extractos del certificado necesitan autorización de CELDA EIRL.
El presente certificado sin firmas y sellos carece de validez.

Sello	Fecha	Hecho por	Revisado por
	2016-10-24	 Vladimir Tejo Técnico de Laboratorio	 JOSEPH ARNALDO RUMICHE ORMAZO INGENIERO CIVIL Reg. CIP. N° 89945

Página 1 de 2

Av. Brasil 1361 Int. 602 - Jesús María - Lima Telf: (01)4371145 - 3322711 web: www.celdaairl.com email: celda@celdaairl.com

Fuente: QCE S.A.C

Figura 95: Certificado de calibración de equipo de Permeabilidad (Manómetro)

CELDA EIRL

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
CCE-016-2017**

Peticionario	: SIKA PERÚ S.A.
Atención	: SIKA PERÚ S.A.
Lugar de calibración	: Laboratorio CELDA EIRL, Av. Brasil N° 1361 - Jesús María - Lima
Tipo de equipo	: Manómetro de Equipo de Permeabilidad
Serie del equipo	: 11001770
Modelo del equipo	: 55-C0244/B
Tipo de indicador (dial)	: Analógico
Alcance de indicación	: 0 - 10 bar
División de escala	: 0,1 bar
Marca	: CONTROLS
Procedencia	: Italia
Temp.(°C) y H.R.(%) inicial	: 20,3 °C / 70%
Temp.(°C) y H.R.(%) final	: 20,4 °C / 69%
Método de calibración	: Procedimiento de calibración de manómetros, vacuómetros y manovacuómetros de deformación elástica - PC 004 - segunda edición.
Patrón de referencia	: Marca KELLER, tipo MPX de 0-26 bar de capacidad, con N° de serie 6537 con certificado de calibración N° 238114.
Número de páginas	: 2
Fecha de calibración	: 2017-11-03

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido sin modificaciones y en su totalidad.

Las modificaciones y extractos del certificado necesitan autorización de CELDA EIRL.
El presente certificado sin firmas y sellos carece de validez.

Sello*	Fecha	Hecho por	Revisado por
	2017-11-04	 Vladimir Tello Forre TÉCNICO DE LABORATORIO	 JOSÉ FRANCISCO DANIEL ARAYA INGENIERO CIVIL Reg. del CIP N° 84285

RECIBIDO
Sika Perú S.A.C.
09 NOV. 2017
NO ES SERIAL DE CONFORMIDAD

7/11/17
N° 3950

Fuente: SIKA PERÚ S.A.

ANEXO 6: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

Tabla 90: Costo Unitario de un Concreto Patrón con Cemento Tipo ICO

Partida: CONCRETO EN MURO $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$					
Rendimiento: 10.00 m³/DÍA			COSTO UNITARIO POR: m³		S/. 390.02
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					179.65
OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	22.03	35.25
OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	16.45	26.32
PEÓN	hh	10.0000	8.0000	14.76	118.08
Materiales					199.34
PIEDRA DE 3/4"	m3		0.3820	42.37	16.19
ARENA GRUESA	m3		0.2600	25.34	6.59
CEMENTO PORTLAND TIPO ICO	bls		9.0820	19.32	175.48
AGUA	m3		0.2160	5.00	1.08
Equipos					11.03
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00%	179.65	5.39
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	0.5000	0.4000	3.70	1.48
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 11 p3	hm	0.5000	0.4000	10.40	4.16

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 91: Costo Unitario de un Concreto Patrón con Cemento Tipo V

Partida: CONCRETO EN MURO $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$					
Rendimiento: 10.00 m³/DÍA			COSTO UNITARIO POR: m³		S/. 449.29
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					179.65
OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	22.03	35.25
OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	16.45	26.32
PEON	hh	10.0000	8.0000	14.76	118.08
Materiales					258.61
PIEDRA DE 3/4"	m3		0.3820	42.37	16.19
ARENA GRUESA	m3		0.2600	25.34	6.59
CEMENTO PORTLAND TIPO V	bls		9.0820	25.85	234.75
AGUA	m3		0.2160	5.00	1.08
Equipos					11.03
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00%	179.65	5.39
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	0.5000	0.4000	3.70	1.48
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 11 p3	hm	0.5000	0.4000	10.40	4.16

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 92: Costo Unitario de un Concreto con 50% de Ecogravilla y Cemento Tipo ICO

Partida: CONCRETO EN MURO f'c=210 kg/cm2 (50% ECOGRAVILLA x PIEDRA)					
Rendimiento: 10.00 m³/DÍA		COSTO UNITARIO POR: m³		S/. 438.03	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					179.65
OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	22.03	35.25
OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	16.45	26.32
PEON	hh	10.0000	8.0000	14.76	118.08
Materiales					247.35
PIEDRA DE 3/4"	m3		0.1910	42.37	8.09
ARENA GRUESA	m3		0.2830	25.34	7.17
CEMENTO PORTLAND TIPO ICO	bls		9.0820	19.32	175.48
AGUA	m3		0.2310	5.00	1.16
ECOGRAVILLA DE ESCORIA DE ACERO	m3		0.1700	326.20	55.45
Equipos					11.03
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00%	179.65	5.39
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	0.5000	0.4000	3.70	1.48
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 11 p3	hm	0.5000	0.4000	10.40	4.16

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 93: Costo Unitario de un Concreto con 50% de Ecogravilla y Cemento Tipo V

Partida: CONCRETO EN MURO f'c=210 kg/cm2 (50% ECOGRAVILLA x PIEDRA)					
Rendimiento: 10.00 m³/DÍA		COSTO UNITARIO POR: m³		S/. 497.30	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					179.65
OPERARIO	hh	2.0000	1.6000	22.03	35.25
OFICIAL	hh	2.0000	1.6000	16.45	26.32
PEON	hh	10.0000	8.0000	14.76	118.08
Materiales					306.62
PIEDRA DE 3/4"	m3		0.1910	42.37	8.09
ARENA GRUESA	m3		0.2830	25.34	7.17
CEMENTO PORTLAND TIPO V	bls		9.0820	25.85	234.75
AGUA	m3		0.2310	5.00	1.16
ECOGRAVILLA DE ESCORIA DE ACERO	m3		0.1700	326.20	55.45
Equipos					11.03
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00%	179.65	5.39
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	0.5000	0.4000	3.70	1.48
MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 11 p3	hm	0.5000	0.4000	10.40	4.16

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 94: Costo Unitario de Tarrajeo con Impermeabilizante en Muros de Concreto con Cemento
Tipo ICO

Partida: TARRAJEO DE MURO CON IMPERMEABILIZANTE					
Rendimiento:	9.00 m²/DÍA	COSTO UNITARIO POR: m²		S/. 29.87	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					23.52
OPERARIO	hh	1.0000	0.8000	22.03	17.62
PEÓN	hh	0.5000	0.4000	14.76	5.90
Materiales					5.64
ARENA FINA	m3		0.0160	22.00	0.35
CEMENTO PORTLAND TIPO ICO	bls		0.1170	19.32	2.26
AGUA	m3		0.0050	5.00	0.03
ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	kg		0.0800	12.00	0.96
REGLA DE MADERA	p2		0.3880	5.27	2.04
Equipos					0.71
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00%	23.52	0.71

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 95: Costo Unitario de Tarrajeo con Impermeabilizante en Muros de Concreto con Cemento
Tipo V

Partida: TARRAJEO DE MURO CON IMPERMEABILIZANTE					
Rendimiento:	9.00 m²/DÍA	COSTO UNITARIO POR: m²		S/. 30.63	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					23.52
OPERARIO	hh	1.0000	0.8000	22.03	17.62
PEON	hh	0.5000	0.4000	14.76	5.90
Materiales					6.40
ARENA FINA	m3		0.0160	22.00	0.35
CEMENTO PORTLAND TIPO V	bls		0.1170	25.85	3.02
AGUA	m3		0.0050	5.00	0.03
ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	kg		0.0800	12.00	0.96
REGLA DE MADERA	p2		0.3880	5.27	2.04
Equipos					0.71
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.00%	23.52	0.71

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 7: NORMATIVAS TÉCNICAS USADAS EN ESTA TESIS

Figura 96: Norma Técnica Peruana para Análisis Granulométrico

NORMA TÉCNICA		NTP 400.012
PERUANA		2013
Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145		Lima, Perú
<p>AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global</p> <p>AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates</p> <p>2013-02-01 3ª Edición</p>		
R.0071-2013/INDECOPI-CRT. Publicada el 2013-02-01		Precio basado en 14 páginas
I.C.S.: 91.100.30		ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptores: Agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis granulométrico		

Fuente: INACAL

Figura 97: Norma Técnica Peruana para Peso Unitario

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 400.017 2011
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI Calle De la Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145	
Lima, Perú	
<p>AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados</p> <p>AGGREGATE. Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate</p> <p>Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 29/C29M-2009 Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International</p> <p>2011-02-02 3ª Edición</p>	
R.0002-2011/ CNB- INDECOPI Publicada el 2011-03-12	Precio basado en 14 páginas
IC.S.: 91.100.30	ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptores: Agregados, densidad de masa, agregado grueso, densidad, agregado fino, peso unitario, vacíos en agregados	

Fuente: INACAL

Figura 98: Norma Técnica Peruana para Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 400.021 2002
Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145	Lima, Perú
AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso	
AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate	
2002-05-16 2ª Edición	
R.0048-2002/INDECOPI-CRT.Publicada el 2002-05-30	Precio basado en 08 páginas
I.C.S.: 91.100.30	ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptores: absorción, agregado, agregado grueso, peso específico	

Fuente: INACAL

Figura 99: Norma Técnica Peruana para Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 400.022 2013
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú	
<p>AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino</p> <p>AGGREGATES. Standard test method Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate</p> <p>Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 128-2012 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International</p> <p>2013-12-26 3ª Edición</p> <p>R.0113-2013/CNB-INDECOPI. Publicada el 2014-01-16 I.C.S.: 91.100.30</p> <p>Descriptores: absorción, agregado, densidad aparente, densidad relativa aparente, densidad, agregado fino; densidad relativa, gravedad específica</p> <p>© ASTM 2012 - © INDECOPI 2013</p>	

Fuente: INACAL

Figura 100: Norma Técnica Peruana para Contenido de Humedad

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 339.185 2013
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145	
Lima, Perú	
<div data-bbox="394 680 1227 1794" data-label="Form"> <p>AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado</p> <p>CONCRETE. Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying</p> <p>Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la norma ASTM C 566-13 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International</p> <p>2013-08-07 2ª Edición</p> <p>R.0054-2013/CNB-INDECOPI. Publicada el 2013-08-24 I.C.S.: 91.100.30 Descriptores: Agregados, secado, contenido de humedad</p> <p>Precio basado en 08 páginas ESTA NORMA ES RECOMENDABLE</p> <p>© ASTM 2013 - © INDECOPI 2013</p> </div>	

Fuente: INACAL

Figura 101: Norma Técnica Peruana para Determinar la Resistencia a la Compresión

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 339.034 2015
Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145	Lima, Perú
HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas	
CONCRETE . Standard Test method for Compressive Strength of cylindrical concrete specimens	
Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C39/C39M-05e1 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. –Reimpreso por autorización de ASTM International	
2015-12-31 4ª Edición	
R.001-2015/INDECOPI-CRT. Publicada el 2015-12-31 I.C.S.: 91.100.30	Precio basado en 18 páginas ESTA NORMA ES RECOMENDABLE
Descriptores: Hormigón, concreto, resistencia, resistencia a la compresión, muestras cilíndricas	

Fuente: INACAL

Figura 102: Norma Técnica Peruana Extracción y Preparación de las Muestras de Agregados

NORMA TÉCNICA	NTP 400.010
PERUANA	2011
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145	
	Lima, Perú
<p>AGREGADOS. Extracción y preparación de las muestras</p> <p>AGGREGATES. Standard practice for sampling aggregates</p> <p>2011-12-29 3ª Edición</p>	
<p>R.0067-2011/CNB-INDECOPI. Publicada el 2012-01-13</p> <p>IC.S.: 91.100.30</p> <p>Descriptores: agregados, extracción, preparación de muestras agregados, exploración de canteras potenciales, número y medidas necesarias para estimar las características</p>	
<p>Precio basado en 08 páginas</p> <p>ESTA NORMA ES RECOMENDABLE</p>	

Fuente: INACAL

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 400.011 2008
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145	
Lima, Perú	
<p>AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos)</p> <p>AGGREGATES. Definition and classification of aggregates for its uses in mortars and concretes</p>	
<p>2008-12-12 2ª Edición</p>	
<p>R.0042-2008/INDECOPI-CNB. Publicada el 2009-01-11</p> <p>I.C.S.: 91.100.30</p> <p>Descriptores: Agregados, definición, clasificación de agregados, uso en morteros y hormigones</p>	<p>Precio basado en 12 páginas</p> <p>ESTA NORMA ES RECOMENDABLE</p>

Bach. Anthony Corcuera Sigüenza; Bach. Jose Vela Fernandez

Figura 104: Norma Técnica Peruana para Cementos Portland Adicionados (tipo ICO)

[illegible]

Fuente: INACAL

Figura 105: Norma Técnica Peruana para Cementos Portland (tipo V)

NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.009 2016
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú	
CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos	
CEMENT. Portland Cement. Requirements	
2016-12-31 7ª Edición	
R.0046-2016/CNB-INDECOPI. Publicada el 2016-12-31 I.C.S.: 91.100.10 Descriptores: Cemento, cemento Portland, requisito	Precio basado en 24 páginas ESTA NORMA ES RECOMENDABLE © INDECOPI 2016

Fuente: INACAL

Figura 106: Norma del Ensayo “Profundidad de Penetración de Agua bajo Presión”

<p>norma española</p> <p style="text-align: right;">UNE-EN 12390-8</p> <p style="text-align: right;">Noviembre 2011</p>	
TÍTULO	<p>Ensayos de hormigón endurecido</p> <p>Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión</p> <p><i>Testing hardened concrete. Part 8: Depth of penetration of water under pressure.</i></p> <p><i>Essai pour béton durci. Partie 8: Profondeur de pénétration d'eau sous pression.</i></p>
CORRESPONDENCIA	Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europa EN 12390-8:2011.
OBSERVACIONES	Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 12390-8:2009.
ANTECEDENTES	Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 83 <i>Hormigón</i> cuya Secretaría desempeña ANEFHOP.

Fuente: AENOR

ANEXO 8: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO TIPO ICO



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 556 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000

G-CC-F-04
Versión 03

CEMENTO EXTRAFORTE

Cemento Portland Compuesto Tipo ICo

Conforme a la NTP 334.090

Piura, 21 de Septiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.090
MgO	%	1.3	Máximo 6.0
SO3	%	1.99	Máximo 4.0

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.090
Contenido de Aire	%	6	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.065	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	5020	NO ESPECIFICA
Retenido M325	%	3.2	NO ESPECIFICA
Densidad	g/mL	3.00	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	24.1 (245)	Mínimo 13.0 (Mínimo 133)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	28.3 (288)	Mínimo 20.0 (Mínimo 204)
Resistencia Compresión a 28días	MPa (Kg/cm ²)	32.4 (330)	Mínimo 25.0 (Mínimo 255)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	111	Mínimo 45
Fraguado Final	min	260	Máximo 420

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.

Ing. Ysabel Burneo Miranda
Superintendente de Control de Calidad

Fuente: Cementos Pacasmayo ®

ANEXO 9: FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO TIPO V



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo V

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 15 de Agosto del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.1	Máximo 6.0
SO ₃	%	1.9	Máximo 2.3
C ₃ A	%	3.1	Máximo 5
C ₄ AF + 2(C ₃ A)	%	19.9	Máximo 25
Pérdida por ignición	%	1.8	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.38	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	10	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.05	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.11	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3 días	MPa (Kg/cm ²)	19.6 (200)	Mínimo 8.0 (Mínimo 82)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (Kg/cm ²)	27.3 (278)	Mínimo 15.0 (Mínimo 153)
Resistencia Compresión a 28 días	MPa (Kg/cm ²)	34.0 (347)	Mínimo 21.0 (Mínimo 214)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	173	Mínimo 45
Fraguado Final	min	300	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2017 al 31-07-2017.
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Junio 2017.
(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Fuente: Cementos Pacasmayo ®

ANEXO 10: CERTIFICADO DE DONACIÓN DE ECOGRAVILLA POR ACEROS AREQUIPA ©

	ACTA DE DONACIÓN DE RESIDUOS	Macroproceso Gestión de medio ambiente		
	MAGR06-E001	Fecha de vigencia: 2017/04	Versión: 02	Aprobado por: ALP



**ACEROS
AREQUIPA**
Corporación Aceros Arequipa S.A.

**ACTA DE DONACIÓN DE RESIDUOS
N°0013**

Pisco, 06 de julio 2017

Sr. CORCUERA SINGÜENZA ANTHONY – DNI 70475911
Sr. VELA FERNANDEZ JOSÉ RAFAEL – DNI 47931525

Por el presente documento Corporación Aceros Arequipa S.A, representado por el Ing. **José Alexis Luján Pérez, Supervisor de Medio Ambiente**, transfiere gratuitamente en calidad de donación, **Ecogravilla 0.380 Tn** a Sr. Corcuera Sigüenza y Sr. Vela Fernández identificados con DNI 70475911 y 47931525 respectivamente.

La presente donación tiene como finalidad aplicarlo en la investigación para el proceso de elaboración de tesis **"Influencia de la Escoria de Acero en la resistencia mecánica y permeabilidad de un concreto convencional"**.

Por lo tanto, cabe indicar bajo ninguna circunstancia esta donación deberá comercializarse ni ser utilizada para otros fines.

En fecha **06 de Julio del 2017**, se firma el presente documento entre el **Sr. Corcuera y Sr. Vela** y el representante de Corporación Aceros Arequipa S.A.



JOSE ALEXIS LUJÁN PEREZ
DONANTE



Sr. ANTHONY CORCUERA SINGÜENZA
DNI 70475911
BENEFICIARIO



Sr. JOSÉ RAFAEL VELA FERNANDEZ
DNI 47931525
BENEFICIARIO

Fuente: Elaboración Propia